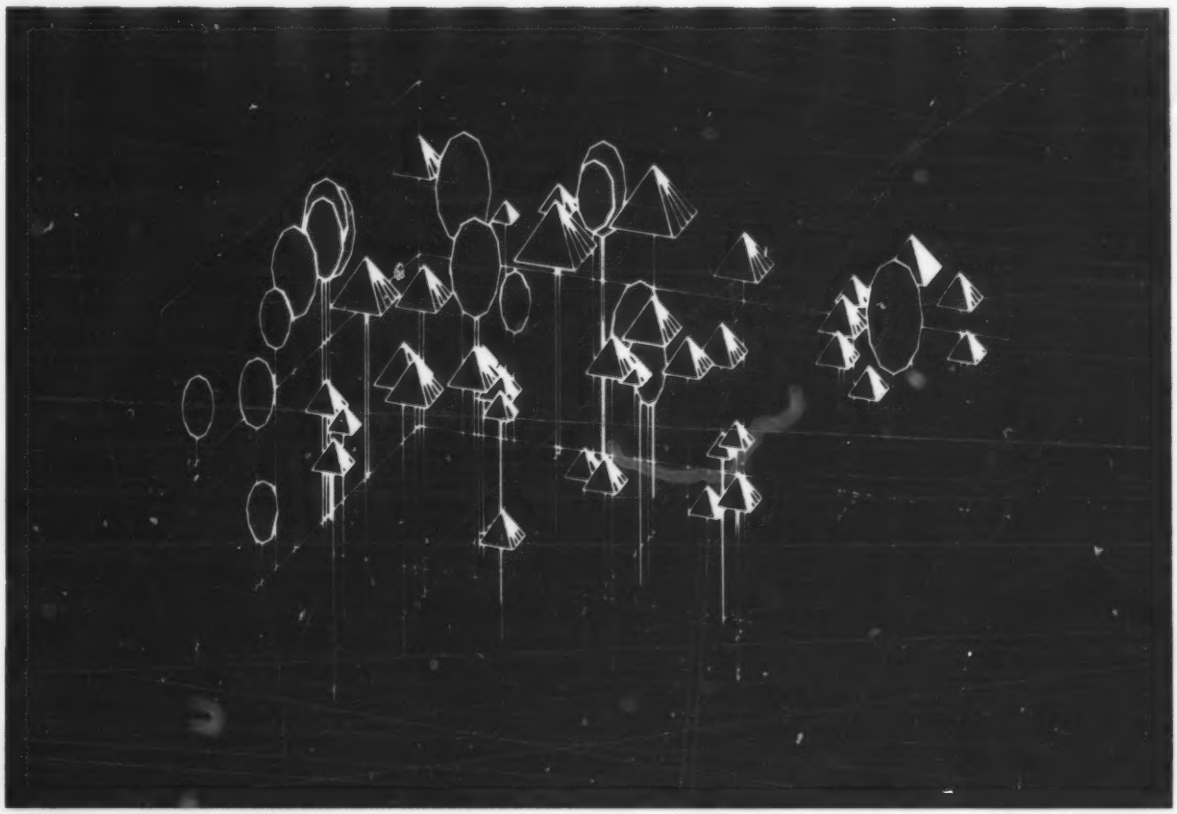
Response to Air Pollution
ARNEWS Assesses the Health of Canada's Forests

En riposte à la pollution atmosphérique
Le DNARPA permet de prendre le pouls des forêts du Canada

Respuesta a la contaminación atmosférica
Evaluación del estado de los bosques de Canadá mediante SNDTLLA

J. Peter Hall/Paul A. Addison • DPC-X-34



Forestry Canada Forêts Canada

Canada

92-03662/

Response to Air Pollution
ARNEWS Assesses the Health of Canada's Forests

En riposte à la pollution atmosphérique
Le DNARPA permet de prendre le pouls des forêts du Canada

Respuesta a la contaminación atmosférica
Evaluación del estado de los bosques de Canadá mediante SNDTLLA

J. Peter Hall/Paul A. Addison

Information Report/Rapport d'information/Informe DPC-X-34
Forestry Canada/Forêts Canada
Science and Sustainable Development Directorate/
Direction des sciences et du développement durable
Ottawa, 1991

Printed on recycled paper
Imprimé sur du papier recyclé
Impreso sobre papel reciclado

Contents

Response to Air Pollution
ARNEWS Assesses the Health of Canada's Forests 1

En riposte à la pollution atmosphérique
Le DNARPA permet de prende le pouls des forêts du Canada 15

Respuesta a la contaminación atmosférica
Evaluación del estado de los bosques de Canadá mediante SNDTLLA 29

Response to Air Pollution

ARNEWS Assesses the Health of Canada's Forests

J. Peter Hall
Forestry Canada
Science and Sustainable Development Directorate
Ottawa, Ontario

and Paul A. Addison
Forestry Canada
Ontario Region
Sault Ste. Marie, Ontario

Information Report DPC-X-34
Forestry Canada
Science and Sustainable Development Directorate
Ottawa, 1991

© Minister of Supply and Services Canada 1991
ISSN 0705-324X

Copies of this publication may be obtained free of charge from:
Forestry Canada
Public Enquiries Centre
Hull, Quebec
K1A 1G5

Phone: (819) 953-2312
Fax: (819) 953-7048

A microfiche edition of this publication may be purchased from:
Micromedia Ltd.
Place du Portage
165 Hôtel-de-Ville St.
Hull, Quebec
J8X 3X2

Canadian Cataloguing in Publication Data

Hall, J. Peter

Response to air pollution : ARNEWS assesses the health of Canada's forests — En riposte à la pollution atmosphérique : Le DNARPA permet de prendre le pouls des forêts du Canada — Respuesta a la contaminación atmosférica : Evaluación del estado de los bosques de Canadá mediante SNDTLLA

(Information Report ; DPC-X-34)
Text in English, French and Spanish.
Cover title.
Includes bibliographical references.
ISBN 0-662-58489-9
Catalogue No. Fo46-13/34-1991

1. Forest conservation — Canada. 2. Acid rain — Canada. 3. Air — Pollution — Canada. I. Addison, P.A. (Paul Andrew), 1947 - . II. Canada. Forestry Canada. III. Title. IV. Title: ARNEWS assesses the health of Canada's forests. V. Title: En riposte à la pollution atmosphérique : Le DNARPA permet de prendre le pouls des forêts du Canada. VI. Title: Respuesta a la contaminación atmosférica : Evaluación del estado de los bosques de Canadá mediante SNDTLLA. VII. Series: Information Report (Canada. Forestry Canada) ; DPC-X-34.

SD414.C32H35 1991 634.9'619'0971 C91-098680-0E

Contents

Acknowledgments 5

Abstract 5

Introduction 5

Rationale for the Establishment of ARNEWS 7

System Establishment 10

Monitoring Effects 11
- Maple Decline 11
- Birch Deterioration 11

Summary 11

References 11

Acknowledgments

ARNEWS developed from discussions among scientists from the Forest Insect and Disease Survey and the Long-Range Transport of Air Pollution Program of Forestry Canada. The system was developed and implemented with the cooperation and good will among personnel in these programs.

The authors are indebted to Dr. L. Magasi of Forestry Canada – Maritimes, Dr. D. Lachance of Quebec Region, and Dr. A Van Sickle of Pacific and Yukon Region for their helpful comments in preparing this paper.

Abstract

In Canada, acid rain is a generic term comprising all forms of air pollution — wet and dry deposition, gaseous pollutant concentrations, and airborne particles. Because these pollutants, alone or in combination, may directly or indirectly affect the health of Canada's forests, Forestry Canada in 1984 initiated a national forest monitoring program, the Acid Rain National Early Warning System (ARNEWS).

Research on the effects of pollutants for the previous 15–20 years showed that under Canadian conditions, it was impossible to define specific symptoms of acid rain or mixtures of pollutants on trees or specific responses of the forest ecosystem. The ARNEWS program was designed to monitor the health of the forest to determine the effects of acid rain and regional air pollutants on the forest. Monitoring is done by personnel of the Forest Insect and Disease Survey, experienced in the evaluation of forest health. They assess permanent sample plots and the forest as a whole for anomalous forest damage. Techniques used include mensurational and symptomatological measurements and evaluation of stands for damage from natural and anthropogenic causes. The system depends on the capability of Forestry Canada to support the detection and monitoring system with research staff to carry out studies explaining abnormalities in the condition of the forest. Observed abnormalities then lead to research projects on possible causes.

Introduction

There is much public concern in Canada about the impact of acid rain on the forest resource. This resource, although extensive, is nevertheless considered potentially vulnerable to large-scale environmental degradation (Table 1). Canada ranks first in the world in the export value of forest products (Forestry Canada 1988) and the Canadian public rates the protection of the environment, particularly the forest environment, as a major public issue even more important than economic development. Forests in Canada are also an important part of its natural heritage and the public places a high value on the quality of the forest environment. Although Canada has one of the lowest population densities in the world, it also has one of the greatest levels of per capita participation in environmental advocacy organizations.

In Canada, the term "acid rain" is used to encompass all forms of air pollution — wet and dry deposition of SO_4 and NO_3, gaseous pollutants, and airborne particles (Addison et al. 1986). There are few instances in Canada where declines attributed to acid rain have been demonstrated (Rennie 1987a) and little evidence that these pollutants are present in high concentrations or are affecting Canada's forests. Stands showing classic pollutant effects occur around strong point sources of heavy metals, fluorine, SO_2, and NO_x. There is also concern about the effects of other pollutants — ozone, volatile organic compounds, other oxidants, and heavy metals.

There are ten major forest regions in Canada and these are affected to varying degrees by pollutants (Rowe 1972.) In Eastern Canada, deciduous forests occupy southern Ontario, farther north is the mixedwood forest, and farther north again is the coniferous boreal forest. The softwood forests in

Table 1. The Canadian forest — selected production and problem statistics (Forestry Canada 1988).

Area	
Total area of Canada	997 million ha
Inventoried forested area	398 million ha
Inventoried productive forest	244 million ha
Production	
1984 Harvest	168 million m^3
Species mix — Softwoods	92%
Hardwoods	8%
Total exports of wood products (1985)	$16.2 billion
Losses	
Annual loss to fire (1973–82)	1.1 million ha
Annual loss to insects and disease (1977–81)	107 million m^3
Forest dead and dying from spruce budworm	25 million ha

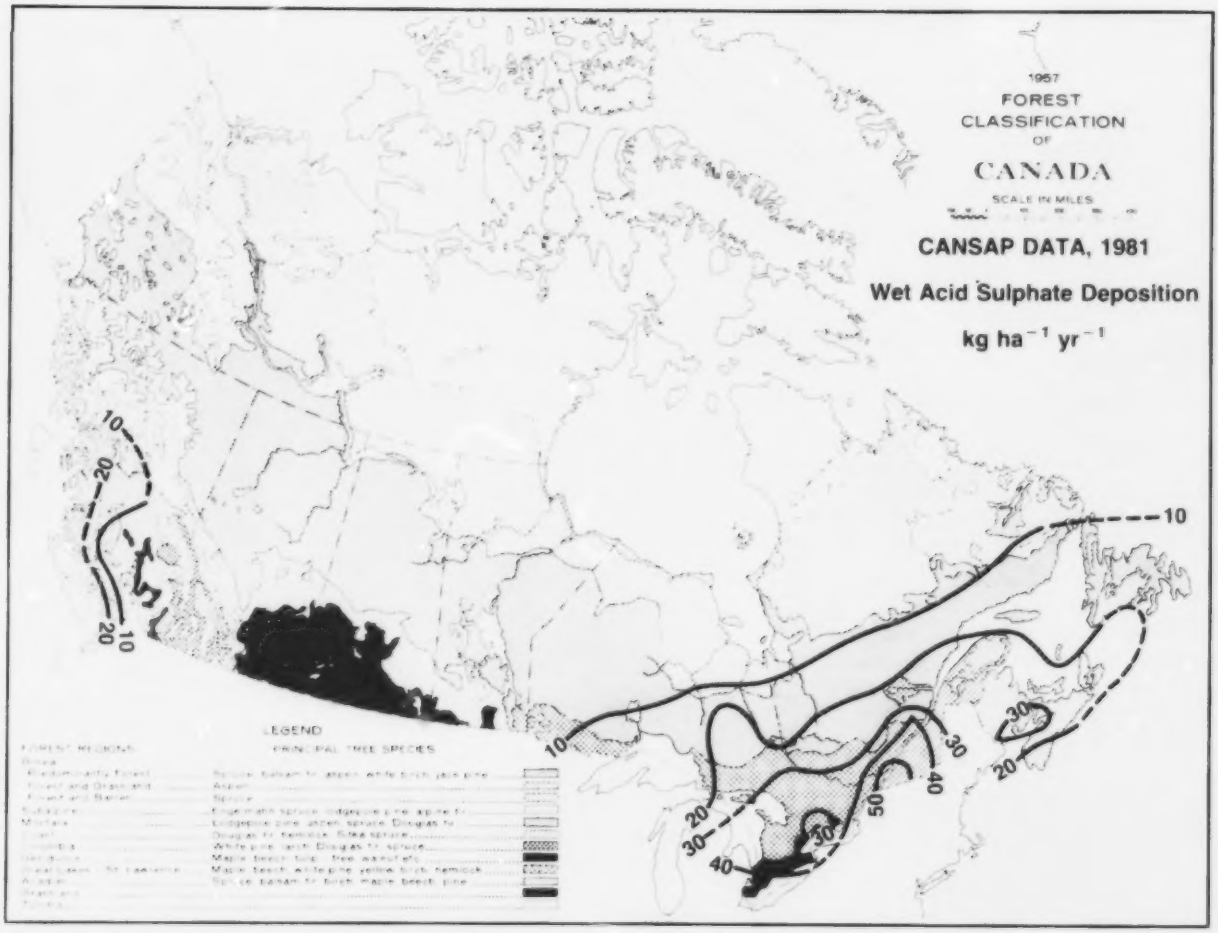


Figure 1. Forest regions of Canada (Rowe 1972) with isopleths of 1981 levels of 5-year average SO_4 deposition (Rennie 1987a).

Canada are where most industrial activity occurs (the pulp and paper industry, for instance) and they are the most remote from point sources of pollution (Rennie 1987b.) If it is assumed that 20 kg/ha per year of wet deposited acid sulfate is a threshold for "significant" pollution deposition, as is the case for aquatic systems, then it is primarily the hardwood and the mixedwood forests comprising approximately 15 million ha that are exposed to significant regional sulfate and nitrate deposition (Figures 1 and 2; Pearson and Percy 1990).

In Canada, therefore, the forests most exposed to regional air pollution are the hardwood and mixedwood forests which are also close to the more densely populated areas. These forests are some of the most productive in the country and the most intensively used for recreation, tourism, wildlife habitat, aesthetics, farm woodlots, maple syrup, and the production of quality hardwood and softwood lumber. It is concern about these forests that drives the air pollution–forest issue for Canadians.

Canada generally has lower levels of pollutants than either Europe or the United States (Rennie 1986). Despite these relatively low pollutant levels and the lack of clearly demonstrated effects, a study of the opinions of air pollution biologists indicated a belief in future losses in growth at current levels of pollution (Fraser et al. 1985.) Furthermore, quantitative estimates of economic losses and future reductions in growth and productivity can be expected to increase if pollution levels are not reduced (Fraser 1989.) The potential threat of negative effects of acid rain on the forest was considered strong enough to

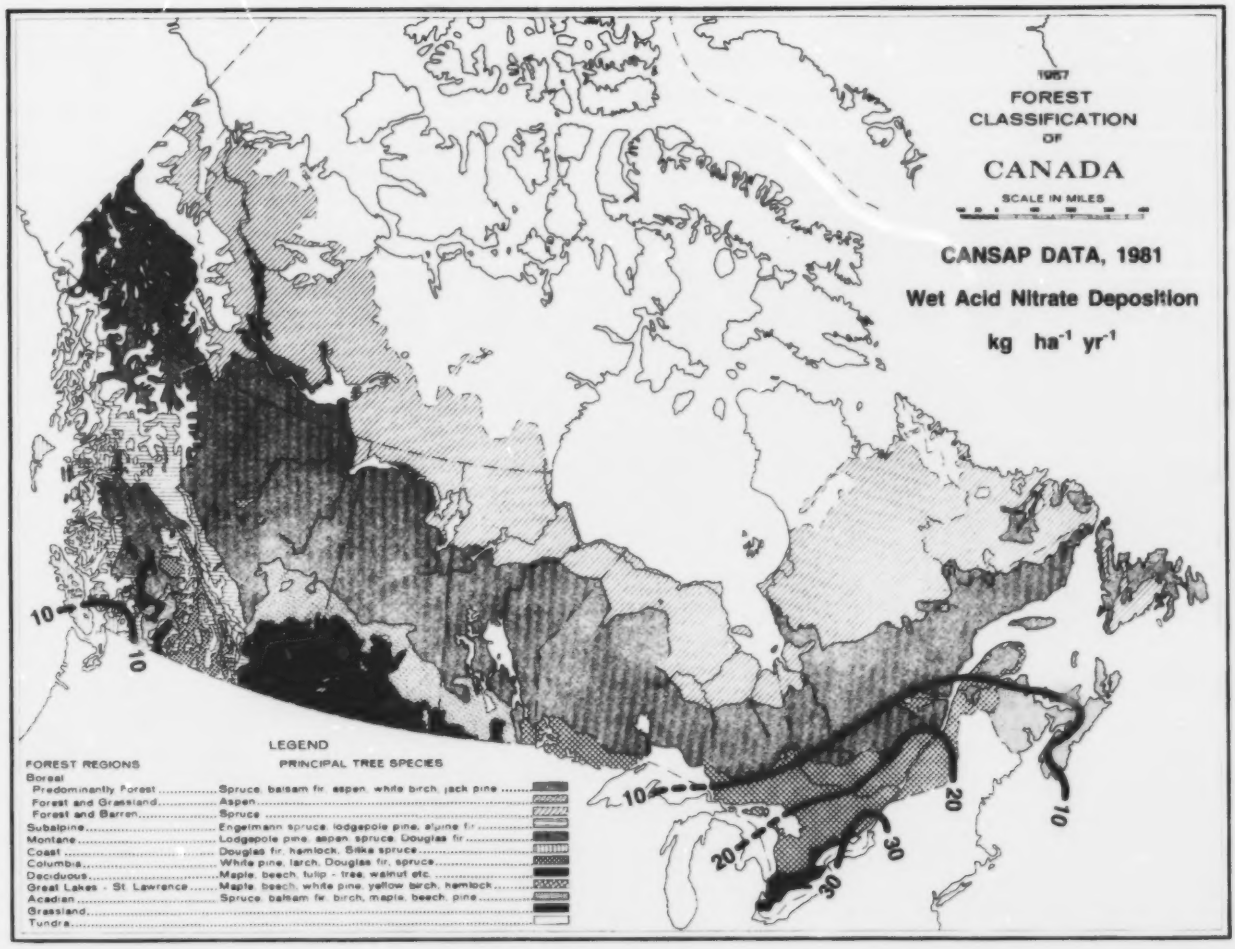


Figure 2. Forest regions of Canada (Rowe 1972) with isopleths of 1981 levels of 5-year average NO_3 deposition (Rennie 1987a).

develop a system to prove whether or not Canadian forests were being affected by the deposition of materials known to cause damage elsewhere. Therefore, in 1984, Forestry Canada initiated a national program of forest monitoring called the Acid Rain National Early Warning System (ARNEWS) (Figure 3).

The objectives of ARNEWS are:

- to detect the possible damage to forest trees and soils caused by acid rain by identifying the damage sustained by Canadian forests that are not attributable to natural causes or management practices and
- to monitor in the long term, vegetation and soils to detect changes attributable to acid deposition and other pollutants in representative forest ecosystems.

Rationale for the Establishment of ARNEWS

There are differences between the evaluation of effects near strong point sources and the detection of effects on extensive areas at relatively low levels of pollution. Forestry Canada has more than 50 years of experience in detecting and monitoring the effects of air pollution from point sources on the forests. These include observations at Trail, British Columbia (Katz 1929); at Sudbury, Ontario (Linzon 1958);

Fort McMurray, Alberta (Addison 1980, Addison et al. 1987); and Long Harbour, Newfoundland (Sidhu 1979). A monitoring network must be designed to demonstrate that the pollutants of interest are both present and affecting the forest ecosystem simultaneously (Addison 1982.)

Originally the measurement of pollutants was suggested, but the expense of operating a network of atmospheric monitoring stations for all possible phytotoxic pollutants was too great. A biological integration of pollutant deposition such as pollutant content of plant and soil material was suggested as an alternative approach. The potential for the pollutant content of lichen and vascular plant and soil material to provide an estimate of the deposition of air pollutants was examined quantitatively. The chemical composition of plant and soil material within the forest ecosystem varied considerably (Maynard and Addison 1986). Other possible phytotoxic pollutants such as ozone or hydrogen peroxide in soil and plant material could not be evaluated reliably. Because deposition rates measured in the forest were low in absolute terms and in relation to the natural occurrence of SO_4 and NO_3, monitoring of the

Figure 3. Canada showing site locations for the Canadian Acid Rain National Early Warning System.

expected rates of deposition was considered impractical. It was possible to detect only very large amounts of pollutants and significant changes in the vegetation.

Many biological processes respond to air pollutants in the laboratory and around strong point sources, but field monitoring of biological responses to pollutant deposition is very difficult (Addison 1989). It was proposed that specific, visible symptoms of air pollution impact could be used for monitoring (Malhotra and Blauel 1980), but specific responses of forest ecosystems to regional air pollution have not been demonstrated. Biological responses to pollution have been measured in both vegetation and soils. The variability in the chemical composition of vegetation is greater than the variability in soils (Maynard and Addison 1986). Biological systems respond to a complex of environmental factors rather than to a single factor such as "air pollution." Other components of the environmental complex such as insect damage, diseases, climate, fire, and soils also affect the forest (Barnard et al. 1985; Table 2).

Table 2. Factors that add stress to the forest ecosystem.

Primary Factors

Climate Factors
Drought, excess moisture, increased soil temperature, climate change,winter damage, wind and ice storms

Insects and Diseases
Defoliating, sucking, bark beetle, fungal pathogens of shoots and needles, *Armillaria mellea* and other root rots

Stand Conditions
Overmaturity, logging, combined interaction of soil, climate and trees

Air Pollutants

Secondary Factors

Nematodes, Viruses, Mycoplasms, Fastidious xylem-limited bacteria

Pollutants Transported Long Distances Affecting the Forest Ecosystem

Gaseous	Particulates	Solutions
Sulfur compounds	Acidic (S and N) compounds	Oxidants
Nitrogen compounds	Heavy metals	Acid rain/fog
Photo-oxidants	Hydrocarbons	Hydrocarbons
Hydrocarbons		
Pollutant mixtures		

Mechanisms of Impacts of Air Pollution on Forests

Direct Effects

1. Nutrient leaching from foliage
2. Ozone damage and decreased photosynthetic efficiency
3. Ozone damage and increased foliar leaching
4. Sulfur dioxide damage
5. Foliar fertilization and increased winter injury
6. Foliar fertilization and altered nutrient allocation
7. Growth altering substances

Hypotheses Involving Indirect Effects

8. Nutrient leaching from soil
9. Aluminum mobility and toxicity
10. Heavy metal toxicity

Natural factors have such significant impacts that subtle responses caused by pollution are lost in the "noise" of the impact data.

System Establishment

An alternative approach to chemical–biological monitoring was to assess the state of the health of the forest. This approach entailed the use of a common set of measurements taken on permanent sample plots, which led to the establishment of the ARNEWS network by the Forest Insect and Disease Survey (FIDS) of Forestry Canada. FIDS has provided an annual national overview of forest conditions in the survey of the 220 million ha of productive forest for the past 50 years using a staff of experienced field technicians. The role of FIDS in ARNEWS is to establish the permanent sample plots, to monitor health and change, and to undertake a general surveillance to identify areas of forest damage that are not readily explainable by other factors such as insects, disease, fire, and anthropogenic causes. If damage that is not readily explainable is detected, then a research project to determine possible causes is initiated. Forestry Canada's capability of supporting the survey of forest health coupled with the research staff to evaluate abnormalities in forest health is critical to the functioning of the system. Forestry Canada must also be capable of undertaking research and cooperating with other agencies.

A manual setting the methodology and standards of measurements has been developed to measure forest condition over time (Magasi 1988). This monitoring enables the variation from location to location and over time to be determined. Measurements of tree growth are used extensively because growth is sensitive to many factors and is the economic basis for the forest. Records of leaf chlorosis and insect pests are averaged to eliminate their effects on defoliation and growth. Similar methods are used in Europe except no attempt is made to relate measurements to a theoretically "healthy" tree (Program Coordinating Centres 1986). Measurements of tree dimensions, foliage, and soil chemical composition are used to estimate site fertility and provide baseline data for comparison with future measurements.

The parameters are divided into three classes based on the frequency and purpose of the measurements (Table 3; Magasi 1988). Five-year intervals are used between measurements of growth, crown structure and density, and chemical composition of foliage and soil. These measures, together with the standard measurements taken to characterize site and stand (for example, slope, aspect, and forest cover type), provide the initial description of the plots. Tree condition, assessment of foliar conditions, and insect and disease conditions are evaluated during the growing season and surveys for insects and diseases are done periodically to ensure that all major forest pests are detected.

Table 3. Monitoring parameters for ARNEWS plots (Magasi 1988).

A.	**Base year plus every 5-year assessment**
1.	Radial growth
2.	Vertical Growth
3.	Crown structure and density
4.	Foliage sampling for analysis
5.	Soil sampling for analysis
B.	**Base year plus annual assessment**
1.	Tree mortality
2.	Tree condition
3.	Visible foliar symptoms (pollution and natural stresses)
C.	**Base year plus two assessments per growing season**
1.	Insect and disease conditions
2.	Visible foliar symptoms (pollution and natural stresses)
3.	Seed production

ARNEWS, therefore, is a national program to detect clearly and accurately early signs of acid rain damage to Canada's forests before the damage becomes obvious. Close monitoring is necessary to isolate and identify the expected, initially subtle effects of acid rain. Monitoring procedures considered symptoms reported to be typical of acid rain damage in West Germany, including color changes on needles, needles with abnormal shapes, premature discoloration and early shedding of needles, unexplained dieback, early flattening of crowns, and abrupt decline in foliage or annual ring growth (Kondo and Taylor 1986.)

A total of 103 plots were established throughout the southern part of Canada's commercial forests (D'Eon and Power 1989,). Most plots are in Eastern Canada where pollution levels are greatest (Figures 1,2). The commercially important forest types in each province are monitored and assessed. White spruce, *Picea glauca* (Moench) Voss, the only commercial tree species with Pan-Canadian distribution, is included in all plots, if possible.

Monitoring Effects

Since its inception, ARNEWS has monitored change in forests in Eastern Canada. Unexplained decline/damage symptoms have been observed in sugar maple, *Acer saccharum* Marsh., and in birches, *Betula papyrifera* Marsh. and *B. cordifolia* (Reg.) Fern. These symptoms were identified before the formation of the ARNEWS network but have been monitored by the ARNEWS system.

Maple Decline

A decline in the appearance and health of sugar maple stands in Quebec resulted in surveys of maple stands, which indicated that no single factor, elevation, management practices, tapping, insects, or diseases, adequately explained the observed damage. Research on maple decline has been coordinated at three levels. Forestry Canada expanded its own maple silviculture program to include work on nutrient cycling and symptomology of air pollution injury. The Quebec government increased research on the impact mechanisms of air pollution, including ozone, and on the survey and monitoring of the health of maple stands. Another project, the North American Maple Project (NAMP), was developed jointly by Forestry Canada and the United States Forest Service as an outgrowth of ARNEWS. This project currently includes participation by Ontario, Quebec, New Brunswick, Nova Scotia, Maine, New Hampshire, and the states of Vermont, Massachusetts, New York, Michigan, and Wisconsin. The objectives of NAMP are to determine the rate of change in the condition of sugar maple stands, and to assess the rate of change as affected by pollutants, management systems, or the initial level of decline.

Forestry Canada research to date has resulted in a hypothesis of maple decline developed by Auclair (1987, 1989) who correlated the incidence of decline in several hardwoods, including maple, with a series of climate/weather events. Unusually warm winter weather followed by low temperatures and a subsequent warm, dry spring apparently are correlated with the decline of health in hardwoods. This hypothesis does not involve the deposition of pollutants as a cause of decline. However, the presence of pollutants likely causes additional stress to the trees which, in turn, may predispose them to other damaging factors. The full explanation of these effects will probably involve an evaluation of multiple stresses.

Birch Deterioration

Early leaf browning and premature leaf drop of birch was detected in southern New Brunswick along the Bay of Fundy (Magasi 1985). The intensity varied from year to year and damage on several other species has been recorded: alder (*Alnus* spp. B. Ehrh.), largetooth aspen (*Populus grandidentata* Michx.), trembling aspen (*P. tremuloides* Michx.), mountain ash (*Sorbus* spp. L.), and mountain maple (*Acer spicatum* Lam.) Many natural factors (insects and diseases, drought, climate change, salt spray, and unusual winter storms) were considered possible causes but after a detailed analysis, none of them, either individually or in combination, could account for the damage (Magasi 1989). This suggested that other factors that stressed or predisposed the trees should be investigated.

The region where leaf browning occurs is coincident with a high occurrence of summer fogs caused by warm southerly air coming from areas of high pollution in New England. Similar fogs reportedly damaged vegetable crops, where acid fog and ambient ozone have caused depression of photo-synthesis and growth reduction (Takemoto et al. 1988).

A cooperative research project by Forestry Canada, Environment Canada, and the province of New Brunswick was initiated to determine whether acidic fog and ozone may be involved in or causing the damage to birch trees. Initial results indicate that foliar browning occurs at all sites where acidic fog (pH 3.6) is measured (Cox et al. 1989.) Browning is more extensive on older leaves suggesting that damage is cumulative over time. Investigations are continuing to determine the causality of the relationship.

Summary

The Canadian Acid Rain National Early Warning System deals with forest damage having no obvious explanation and is designed to provide an early detection of large-scale forest injury. If unexplained injury is detected, Forestry Canada initiates research studies to determine the causes. ARNEWS, therefore, allows identification of natural and anthropogenic factors affecting the productivity and survival of Canada's forests.

References

Addison, P.A. 1980. Baseline condition of jack pine biomonitoring plots in the Athabasca Oil Sands

area, 1976 and 1977. Alberta Oil Sands Environmental Research Program Report No. 98, Alberta Department of Environment. 38 p.

Addison, P.A. 1982. Biomonitoring in the Athabasca Oil Sands area: Progress and pitfalls. Pages 331–367 *in* Symposium/Workshop Proceedings: Acid forming emissions in Alberta and their ecological effects. Alberta Department of Environment, Canadian Petroleum Association, Oil Sands Environmental Study Group, Edmonton, Alta. 648 p.

Addison, P.A. 1989. Monitoring the health of a forest: A Canadian approach. Environ. Monit. Assess. 12:39–48.

Addison, P.A.; L'Hirondelle, S.J.; Maynard, D.G.; Malhotra, S.S.; Khan, A.A. 1987. Effect of oil sands processing emissions on the boreal forest. Can. For. Serv., Info. Rep. NOR-X-284. Edmonton, Alta.

Addison, P.A.; Linzon, S.N.; Hogan, G.D., editors. 1986. The state of knowledge on the long-range transport of air pollutants and acid deposition assessment report. Part 4, Terrestrial effects. Federal/Provincial Research and Monitoring Coordinating Committee (RMCC), Downsview, Ont.

Auclair, A.N.D. 1987. The climate change theory of forest decline. *In* Lavender, D.P., editor, Proc. of the IUFRO Workshop on Woody Plant Growth in a Changing Physical and Chemical Environment. 27–31 July 1987. Univ. British Columbia, Vancouver, B.C.

Auclair, A.N.D. 1989. Cavitation as a mechanism of dieback in northern hardwoods. *In* Proceedings of the workshop, Research on maple decline. Quebec Dept. Agriculture, Fisheries, and Nutrition. 23–24 February 1989, Saint-Hyacinthe, Quebec. 5 p.

Barnard, J. E.; Bartuska, A. M.; Bradow, R. L.; Cowling, E. B.; Fege, A.; Hood, B.; Janetos, A.; Joyner, K.; Marx, D.H.; Pagano, T.A.; Preston, E.M.; Radloff, D.; Turner, R.; Woodman, J.N. 1985. Science advisory board review of the forest effects research program. US Environ. Protec. Agency, Washington, D.C.

Cox, R.M.; Spavold-Tims, J.; Hughes, R.N. 1989. Acid fog and ozone: Their possible role in birch deterioration around the Bay of Fundy, Canada. Water Air Soil Pollut. 48: 263–276.

D'Eon, S.P.; Power, J.M. 1989. The Acid Rain National Early Warning System (ARNEWS) plot network. Info. Rep. PI-X-91. Forestry Canada, Chalk River, Ont.

Forestry Canada. 1988. Selected forestry statistics Canada 1987. Info. Rep. E-X-40. Economics Branch, Ottawa, Ont.

Fraser, G.A. 1989. Acid rain control: Potential commercial forestry benefits to Canada. Info. Rep. E-X-42. Economics Branch, Forestry Canada, Ottawa, Ont.

Fraser, G.A.; Phillips, W.E.; Lamble, G.W.; Hogan, G.D.; Teskey, A.G. 1985. The potential impact of the long range transport of air pollutants on Canadian forests. Can. For. Serv. Info. Rep. E-X-36. Economics Branch, Ottawa, Ont.

Katz, M. 1929. Sulphur dioxide in the atmosphere and its relation to plant life. Ind. Eng. Chem. 41:2450.

Kondo, E. S.; Taylor, R.G. 1986. Forest insect and disease conditions in Canada 1985. Can. For. Serv., Ottawa, Ont. 107 p.

Linzon, S.N. 1958. The influence of smelter fumes on the growth of white pine in the Sudbury region. Joint Publ. Ontario Dept. Lands and Forests, Ontario Dept. Mines. Toronto, Ont.

Magasi, L.P. 1985. Forest pest conditions in the Maritimes 1984. Can. For. Serv., Info. Rep. M-X-154, Fredericton, N.B.

Magasi, L.P. 1988. Acid rain national early warning system: Manual on plot establishment and monitoring. Can. For. Serv., Info. Rep. DPC-X-25. Ottawa, Ont.

Magasi, L.P. 1989. White birch deterioration in the Bay of Fundy region, New Brunswick 1979-1988. Info. Rep. M-X-177. Forestry Canada, Fredericton, N.B.

Malhotra, S.; Blauel, R.A. 1980. Diagnosis of air pollutant and natural stress symptoms on forest vegetation in western Canada. Can. For. Serv., Info. Rep. NOR-X-228. Edmonton, Alta.

Maynard, D.G.; Addison, P.A. 1986. Variability in forest systems as it relates to elemental sulphur effects. Pages 255–285, *in* Proc. Second

Symposium/Workshop on Acid Forming Emissions in Alberta and Their Ecological Effects. Research Management Division, Alberta Environment, Edmonton. 354 p.

Pearson, R.G.; Percy, K.E. 1990. The 1990 Canadian long-range transport of air pollutants and acid deposition assessment report. Part 5, Terrestrial effects. Federal/Provincial Research and Monitoring Coordinating Committee (RMCC), Downsview, Ont.

Program Coordinating Centres. 1986. International co-operative programme on assessment and monitoring of air pollution effects on forests, manual on methodologies and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Prepared by the Programme Coordinating Centres with the assistance of the United Nations Environment Programme and the Secretariat of the United Nations Economic Commission for Europe. Hamburg, Federal Republic of Germany.

Rennie, P.J. 1986. A review of Canadian investigation. *In* Proc. of the 67th Annual Meeting, Canadian Pulp and Paper Association, Session 9, Acid Deposition and Forest Health. Montreal, Que.

Rennie, P.J. 1987a. The significance of air pollution to forest decline in Canada. *In* Proc. workshop on forest decline and reproduction: Regional and global consequences. International Institute for Applied Systems Analysis and Polish Academy of Sciences, Krakow, Poland.

Rennie, P.J. 1987b. Air pollution and the forestry sector: challenges and requirements. *In* Lavender, D.P., editor, Proc. of the IUFRO Workshop on Woody Plant Growth in a Changing Physical and Chemical Environment. 27-31 July, 1987. Univ. British Columbia, Vancouver, B.C.

Rowe, J.S. 1972. Forest regions of Canada. Can. For. Serv., Publ. No. 1300. Ottawa, Ont. 172 p.

Sidhu, S.S. 1979. Fluoride levels in air, vegetation and soil in the vicinity of a phosphorus plant. J. Air Pollut. Control Assoc. 29:1069.

Takemoto, B.K.; Bytnerowicz, A.; Olszyk, D.M. 1988. Depression of photosynthesis, growth, and yield in field-grown green pepper (*Capsicum annuum* L.) exposed to acidic fog and ambient ozone. Plant Physiol. (Bethesda) 88:477-482.

En riposte à la pollution atmosphérique

Le DNARPA permet de prendre le pouls des forêts du Canada

J. Peter Hall
Forêts Canada
Direction des sciences et du développement durable
Ottawa (Ontario)

et Paul A. Addison
Forêts Canada
Région de l'Ontario
Sault Ste. Marie (Ontario)

Rapport d'information DPC-X-34
Forêts Canada
Direction des sciences et du développement durable
Ottawa, 1991

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1991
ISSN 0705-324X

Il est possible d'obtenir sans frais des exemplaires de cette publication auprès de:

Forêts Canada
Centre d'information
Ottawa (Ontario)
K1A 1G5

Téléphone: (819) 953-2312
Télécopieur: (819) 953-7048

Des microfiches ou copies de cette publication sont en vente chez:

Micromédia Ltée
165, rue Hôtel-de-Ville
Hull (Québec)
J8X 3X2

Données de catalogage avant publication (Canada)

Hall, J. Peter

Response to air pollution : ARNEWS assesses the health of Canada's forests — En riposte à la pollution atmosphérique : Le DNARPA permet de prendre le pouls des forêts du Canada — Respuesta a la contaminación atmosférica : evaluación del estado de los bosques de Canadá mediante SNDTLLA

(Rapport d'information : DPC-X-34)
Texte en anglais, français et espagnol.
Titre de la couverture.
Comprend des références bibliographiques.
ISBN 0-662-58489-9
Numéro de catalogue Fo46-13/34-1991

1. Forêts — Conservation — Canada. 2. Pluies acides — Canada. 3. Air — Pollution — Canada. I. Addison, P.A. (Paul Andrew), 1947–. II. Canada. Forêts Canada. III. Titre. IV. Titre : ARNEWS assesses the health of Canada's forests. V. En riposte à la pollution atmosphérique : Le DNARPA permet de prendre le pouls des forêts du Canada. VI. Titre : Respuesta a la contaminación atmosférica : evaluación del estado de los bosques de Canadá mediante SNDTLLA. VII. Coll. : Rapport d'information (Canada. Forêts Canada) : DPC-X-34.

SD414.C32H35 1991 634.9'619'0971 C91-098680-0F

Table des matières

Remerciements 19

Résumé 19

Introduction 19

Motif de la création du DNARPA 20

Mise en place du réseau 21

Surveillance des effets 23
- Déclin de l'érable à sucre 23
- Dégradation du bouleau 26

Synopsis 26

Ouvrages de référence 26

Remerciements

Le DNARPA est né de discussions tenues par les scientifiques du Relevé des insectes et des maladies des arbres (RIMA) ainsi que du Programme sur le transport à distance des polluants atmosphériques (TADPA) de Forêts Canada. Il a été mis au point et mis en œuvre avec la collaboration et la bonne volonté du personnel affecté à ces programmes.

Nous sommes reconnaissants envers L. Magasi de Forêts Canada, Région des Maritimes, D. Lachance de la Région du Québec et A. Van Sickle de la Région du Pacifique et du Yukon, qui, par leurs observations, nous ont beaucoup aidés dans la préparation du présent document.

Résumé

Au Canada, l'appellation «pluies acides» englobe toutes les formes de pollution atmosphérique, depuis le dépôt humide et sec, jusqu'aux concentrations de polluants gazeux, en passant par les particules atmosphériques. Parce que ces polluants, seuls ou en combinaison, sont susceptibles d'influer directement ou non sur la santé des forêts du Canada, Forêts Canada a lancé, en 1984, un programme national de surveillance des forêts, le Dispositif national d'alerte rapide pour les pluies acides (DNARPA).

Au cours des 15 à 20 dernières années, la recherche a montré que, dans les conditions qui existent au Canada, il était impossible de définir une symptomatologie des effets des pluies acides ou des mélanges de polluants sur les arbres ni les réactions précises de l'écosystème forestier à ces agents. Le DNARPA a été mis en place pour surveiller l'état de santé de la forêt afin de déterminer les effets des pluies acides ainsi que des polluants atmosphériques régionaux sur la forêt. La surveillance est confiée au personnel chargé du Relevé des insectes et des maladies des arbres, qui possède l'expérience voulue dans l'évaluation de l'état de santé des forêts. Les évaluations s'effectuent dans des parcelles permanentes et dans la forêt dans son ensemble en ce qui concerne les dommages anormaux à cette dernière. Les techniques utilisées comprennent la prise de mesures quantitatives et qualitatives (symptomatologiques) ainsi que l'évaluation des dommages dus à des causes naturelles et anthropiques dans les peuplements. Ce réseau de détection et de surveillance dépend de la capacité de Forêts Canada de le faire fonctionner, les chercheurs effectuant les études qui expliqueront les anomalies de l'état de la forêt. Ces anomalies observées donnent ensuite lieu à des travaux de recherche sur leurs causes possibles.

Introduction

Au Canada, le public s'inquiète beaucoup des répercussions des pluies acides sur la forêt. Cette ressource, quoique vaste, est néanmoins considérée comme vulnérable à la dégradation étendue de l'environnement (tableau 1). Le Canada est le premier exportateur mondial de produits forestiers, en termes de valeur (Forêts Canada, 1988), et les Canadiens accordent à la protection de l'environnement, notamment à celle du milieu forestier, le premier rang parmi les grandes questions d'intérêt public, avant même le développement économique. En outre, les forêts constituent un élément important du patrimoine naturel du Canada, et le public accorde une valeur élevée à la qualité du milieu forestier. Même si le Canada est l'un des pays les moins peuplés, il est également l'un des pays ou, par habitant, la participation aux organismes amis de l'environnement est la plus grande.

Au Canada, l'appellation «pluies acides» englobe toutes les formes de pollution atmosphérique : le dépôt humide et sec de SO_4 et NO_3, les polluants gazeux et les particules atmosphériques (Addison et collab. 1986). Au Canada, peu de cas de dépérissement attribué aux pluies acides ont été démontrés (Rennie, 1987a), et il y a peu de preuves que ces polluants sont présents en concentrations élevées ou qu'ils nuisent aux forêts. Les peuplements affligés par les effets classiques de la pollution se situent dans les parages de sources ponctuelles importantes de métaux lourds, de fluor, de SO_2 et de NO_x. D'autres polluants également sont inquiétants : l'ozone, les composés organiques volatils, d'autres oxydants et les métaux lourds.

Le Canada comprend 10 grandes régions forestières, chacune touchée à un degré variable par les polluants (Rowe, 1972). Dans l'Est, les forêts à feuillage caduc occupent le sud de l'Ontario; plus au nord se trouve la forêt mixte et plus au nord encore, la forêt boréale coniférienne. Les forêts de résineux sont celles qui, au Canada, donnent lieu aux activités industrielles les plus intenses (celle de l'industrie des pâtes et papiers, par exemple) et elles sont les plus éloignées des sources ponctuelles de pollution (Rennie, 1987b). Si l'on pose comme hypothèse qu'un dépôt annuel de sulfates acides sous forme humide commence à être important quand il franchit le seuil des 20 kg/ha, comme c'est le cas pour les milieux aquatiques, alors, fondamentalement, ce sont les forêts de feuillus et les forêts mélangées, dont la

Tableau 1. Statistiques de certains paramètres de production et de décroissement de la forêt canadienne (Forêts Canada, 1988)

Superficie	
Superficie totale du Canada	997 millions d'hectares
Superficie forestière inventoriée	398 millions d'hectares
Superficie forestière productive	244 millions d'hectares
Production	
Récolte de 1984	168 millions de mètres cubes
Proportion des essences – résineux	92 %
– feuillus	8 %
Exportations totales de produits du bois (1985)	16,2 milliards de dollars
Pertes	
Pertes annuelles dues aux incendies (1973 à 1982)	1,1 million d'hectares
Pertes annuelles dues aux insectes et aux maladies (1977 à 1981)	107 millions de mètres cubes
Superficie tuée et moribonde due à la tordeuse des bourgeons de l'épinette	25 millions d'hectares

superficie totalise une quinzaine de millions d'hectares, qui sont les plus exposées aux dépôts importants, à l'échelle régionale, de sulfates et de nitrates (figures 1 et 2; Pearson et Percy, 1990).

Ces forêts les plus exposées sont également les plus rapprochées des centres les plus peuplés. Elles sont parmi les plus productives du pays et les plus utilisées pour les loisirs, le tourisme, l'habitat faunique, les valeurs esthétiques, les boisés de ferme, l'acériculture et l'obtention de bois d'œuvre de qualité à partir d'essences feuillues et résineuses. C'est l'inquiétude pour ces forêts qui nourrit le débat de la pollution atmosphérique et des forêts chez les Canadiens.

Le Canada est généralement épargné des fortes concentrations de polluants qui affligent l'Europe ou les États-Unis (Rennie, 1986). Malgré la pollution relativement faible et l'absence d'effets clairement démontrés, une étude de l'opinion des biologistes a montré que ceux-ci croyaient à un ralentissement de la croissance si la pollution atmosphérique se maintenait aux concentrations actuelles (Fraser et collab., 1985). En outre, les pertes économiques estimatives et les pertes sur les plans de l'accroissement et de la productivité peuvent, dans l'avenir, augmenter si les concentrations de polluants ne sont pas diminuées (Fraser, 1989). La menace d'effets négatifs sur les forêts, du fait des pluies acides, a été considérée comme suffisamment sérieuse pour que soit mis en place un réseau visant à prouver si oui ou non les forêts canadiennes étaient touchées par le dépôt de matières réputées pour causer des dommages ailleurs. C'est pourquoi, en 1984, Forêts Canada a lancé un programme national de surveillance des forêts, le Dispositif national d'alerte rapide pour les pluies acides (DNARPA) (figure 3).

Les objectifs du DNARPA étaient les suivants :

- déceler les dommages possibles causés aux arbres et aux sols forestiers du Canada par les pluies acides, par l'identification des dommages qui ne sont pas attribuables à des causes naturelles ni à des pratiques d'aménagement;
- surveiller, sur une longue période et dans des écosystèmes forestiers représentatifs, la végétation et les sols afin de déceler les changements attribuables aux dépôts acides et à d'autres polluants.

Motif de la création du DNARPA

Il y a une différence entre l'évaluation des effets près d'une source ponctuelle d'émissions fortes et la détection des effets sur de vastes superficies soumises à des concentrations relativement faibles de polluants. Forêts Canada possède plus de 50 années d'expérience dans la détection et le contrôle des effets de la pollution atmosphérique due à des sources ponctuelles sur les forêts. Cette expérience repose, entre autres observations, sur celles qui ont été effectuées à Trail (Colombie-Britannique) (Katz,1929); à Sudbury

(Ontario) (Linzon, 1958); à Fort McMurray (Alberta) (Addison, 1980; Addison et collab., 1987); et à Long Harbour (Terre-Neuve) (Sidhu, 1979). Un réseau de surveillance doit pouvoir montrer que le polluant recherché est à la fois présent et à la fois nuisible pour l'écosystème forestier (Addison, 1982).

À l'origine, on a voulu mesurer les polluants, mais les frais de fonctionnement d'un réseau de stations de surveillance de tous les polluants atmosphériques susceptibles d'être phytotoxiques étaient trop élevés. L'intégration biologique du dépôt de polluants, par exemple la teneur en polluants dans le matériel végétal et le sol, a été une solution de rechange. La possibilité de se servir de la teneur en polluants des lichens, des plantes vasculaires et du sol pour obtenir une estimation du dépôt des polluants atmosphériques a été mesurée. La composition chimique des tissus végétaux et des sols à l'intérieur de l'écosystème forestier varie considérablement (Maynard et Addison, 1986). Or, d'autres polluants phytotoxiques éventuels tels que l'ozone ou le peroxyde d'hydrogène ne peuvent pas être évalués de façon digne de confiance dans les sols et les tissus végétaux. Parce que les vitesses du dépôt mesuré en forêt sont faibles en termes absolus et en rapport aux concentrations naturelles de SO_4 et de NO_3, la surveillance des vitesses prévues du dépôt a été considérée comme impraticable. Il n'était possible de déceler que des quantités considérables de polluants et des modifications notables de la végétation.

Beaucoup de processus biologiques réagissent aux polluants atmosphériques en laboratoire et autour des sources ponctuelles d'émissions fortes, mais, sur le terrain, la surveillance de la réaction biologique au dépôt de polluants est très difficile (Addison, 1989). Il a été proposé de fonder la surveillance sur des symptômes spécifiques et visibles de l'effet des polluants atmosphériques (Malhotra et Blauel, 1980), mais il n'avait pas encore été démontré de réactions spécifiques des écosystèmes forestiers à la pollution atmosphérique régionale. Des réactions biologiques à la pollution avaient été mesurées dans la végétation et les sols. La variabilité de la composition chimique de la végétation est plus grande que la variabilité des sols (Maynard et Addison, 1986). Les systèmes biologiques réagissent à un complexe de facteurs mésologiques plutôt qu'à un seul facteur comme la pollution atmosphérique. D'autres constituants du complexe, comme les déprédations des insectes, les maladies, le climat, les incendies et les sols influent aussi sur la forêt (Barnard et collab., 1985; tableau 2). Les facteurs naturels exercent des répercussions si considérables que les réactions subtiles dues à la pollution sont perdues dans la mer de données recueillies sur les répercussions.

Mise en place du réseau

Une solution de rechange à la surveillance des paramètres chimiques et biologiques était l'évaluation de l'état de santé de la forêt. Cette solution comportait l'emploi d'un ensemble commun de mesures à prendre sur des parcelles permanentes, ce qui a mené à l'établissement du réseau DNARPA par le Relevé des insectes et des maladies des arbres (RIMA) de Forêts Canada. Chaque année, pendant ces 50 dernières années, le RIMA a assuré, à l'échelle nationale, l'examen de l'état des 220 millions d'hectares de forêts productives, grâce à une équipe de techniciens d'expérience. Le rôle du RIMA dans le DNARPA est d'établir les parcelles témoins, d'y contrôler l'état de santé des arbres et son évolution et d'entreprendre une surveillance générale pour identifier les régions où la forêt subit des dommages qui ne sont pas facilement explicables par d'autres causes telles que les insectes, les maladies, les incendies et les causes anthropiques. Si de tels dommages sont décelés, un projet de recherche est mis sur pied pour en déterminer les causes possibles. La capacité de Forêts Canada d'appuyer les relevés de l'état de santé des forêts de même que le personnel de recherche qui évaluera les anomalies de cet état de santé sont vitaux pour le fonctionnement du DNARPA. Forêts Canada doit également pouvoir entreprendre de la recherche et collaborer avec d'autres organismes.

Un guide des méthodes et des normes de mesure a été rédigé pour la surveillance de l'état de la forêt dans le temps (Magasi, 1988). Cette surveillance permet de déterminer les variations d'une localité à l'autre ainsi que dans le temps. Les mesures de la croissance des arbres servent largement en raison de la sensibilité de ce paramètre à de nombreux facteurs et aussi parce que ce paramètre est le cœfficient économique de base de la forêt. Les moyennes des observations de la chlorose ainsi que des insectes nuisibles sont établies afin de soustraire leurs effets sur la défoliation et la croissance. Des méthodes semblables sont utilisées en Europe, sauf qu'elles ne tentent pas de ramener les mesures à un arbre théorique en bon état (Program Coordinating Centres, 1986). La dendrométrie ainsi que la mesure de la composition chimique du feuillage et des sols servent à estimer la fertilité de la station et à établir un point zéro en vue de comparaisons ultérieures.

Les paramètres sont divisés en trois classes, selon la fréquence et l'objet des mesures (tableau 3; Magasi, 1988). L'intervalle entre les mesures de la croissance, de la structure et de la densité du couvert d'une cime ainsi que de la composition chimique du feuillage et du sol est de cinq ans. Ces mesures, de même que les mesures ordinaires visant à caractériser

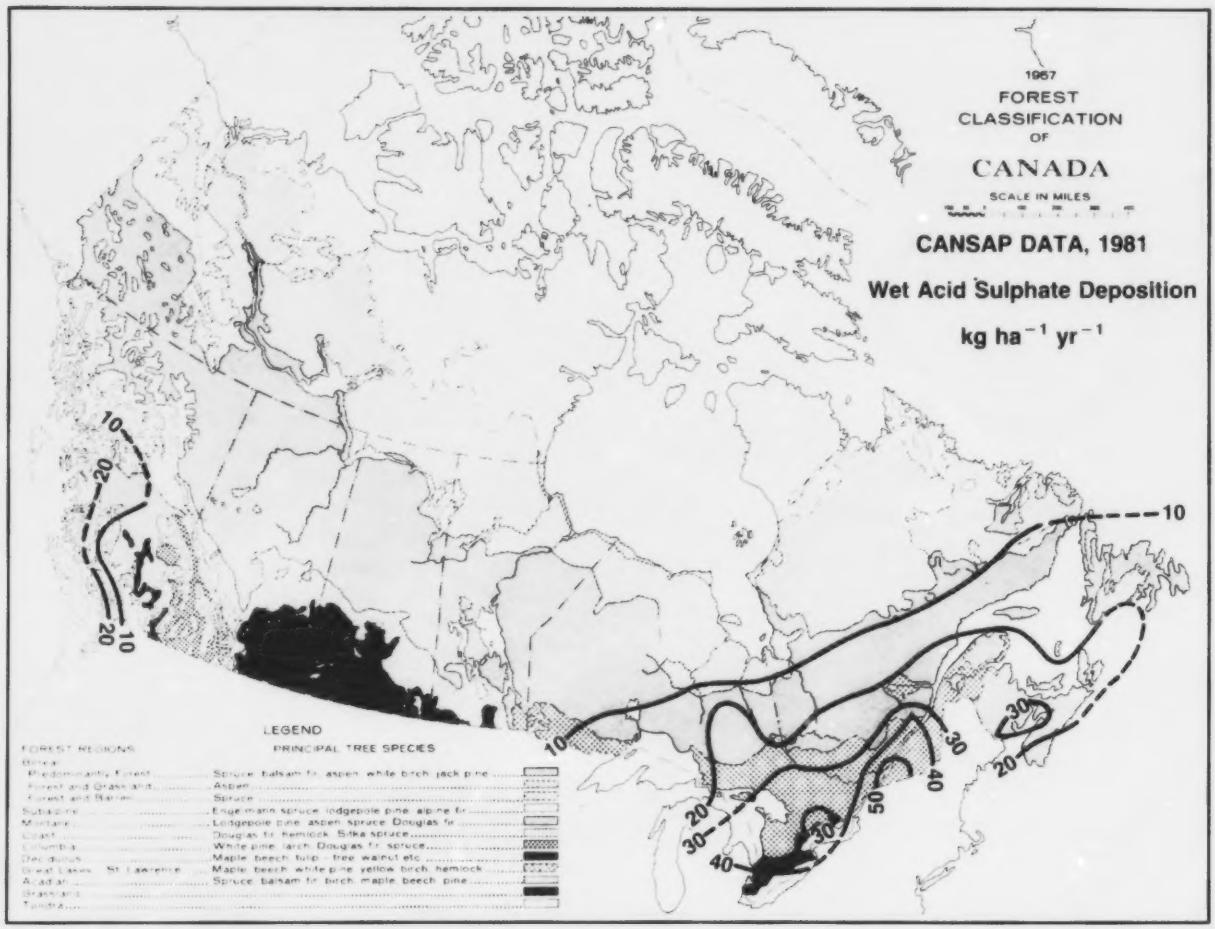


Figure 1. Régions forestières du Canada (Rowe, 1972) et isoplèthes de 1981 du dépôt moyen, sur cinq ans, de SO_4 (Rennie, 1987a).

la station et le peuplement (par exemple la pente, l'exposition et le type de couvert) constituent la description initiale des parcelles. L'état des arbres, l'évaluation de l'état du feuillage ainsi que le degré d'infestation par les insectes et d'infection par les maladies sont évalués au cours de la saison de croissance, tandis que des relevés périodiques visent à assurer la détection de tous les principaux ravageurs forestiers (insectes et maladies).

Le DNARPA est donc un programme national visant à déceler sans équivoque et sans erreur les premiers signes de dommages causés par les pluies acides aux forêts du Canada avant que les dommages ne deviennent évidents. Une surveillance étroite est nécessaire afin d'isoler et d'identifier les effets prévus, subtils d'abord, des pluies acides. La surveillance s'est attachée aux symptômes considérés comme typiques des dommages attribuables aux pluies acides en Allemagne de l'Ouest, y compris l'altération de la couleur des aiguilles, leur déformation anormale, leur décoloration et leur chute prématurées, le dépérissement inexpliqué, les cimes qui se déforment prématurément en nids de cigogne et le plafonnement rapide de la croissance du feuillage ou de l'accroissement annuel en diamètre (Kondo et Taylor, 1986).

En tout, 103 parcelles ont été créées dans l'ensemble des forêts d'intérêt commercial du sud du Canada (D'Eon et Power, 1989). Elles se trouvent pour la plupart dans l'Est, où la pollution est la plus intense

Figure 2. Régions forestières du Canada (Rowe, 1972) et isoplèthes de 1981 du dépôt moyen, sur cinq ans, de NO_3 (Rennie, 1987a).

(figures 1 et 2). Dans chaque province, les types de forêts d'importance commerciale sont surveillés et évalués. Si c'est possible, chaque parcelle comprend des spécimens d'épinette blanche (*Picea glauca* [Mœnch] Voss), seule essence d'intérêt commercial dont la répartition est pancanadienne.

Surveillance des effets

Depuis son démarrage, le DNARPA a permis d'observer des changements dans les forêts de l'Est. On a observé des symptômes et un déclin mystérieux chez l'érable à sucre (*Acer saccharum* Marsh.) et chez les bouleaux *Betula papyrifera* Marsh. et *B. cordifolia* (Reg.) Fern. Ces symptômes avaient été observés avant la création du DNARPA, mais ils ont été suivis grâce à ce dernier.

Déclin de l'érable à sucre

Le phénomène, qui frappait l'apparence et l'état de santé des érablières du Québec, en a amené l'étude. Aucun facteur (altitude, pratiques d'aménagement, entaillage, insectes, maladies) n'expliquait à lui seul les dommages observés. La recherche sur le phénomène a été coordonnée à trois niveaux. Forêts Canada a élargi son propre programme de sylviculture appliquée aux érables pour englober des travaux sur

Tableau 2. Facteurs de traumatismes pour l'écosystème forestier

Facteurs primaires

Facteurs climatiques

Sécheresse, humidité excessive, réchauffement du sol, changement climatique, dommages d'hiver, orages de vent et de glace

Insectes et maladies

Insectes défoliateurs, suceurs, scolytes de l'écorce, mycoses des pousses et des aiguilles, *Armillaria mellea* et autres pourridiés

État du peuplement

Surmaturité, coupe, interactions du sol, du climat et des arbres

Polluants atmosphériques

Facteurs secondaires

Nématodes
Virus
Mycoplasmes
Bactéries exigeantes limitées au xylème

Polluants transportés sur de grandes distances et influant sur l'écosystème forestier

Gazeux	**Particules**	**Solutions**
Composés soufrés	Composés acides (de S et de N)	Oxydants
Composés azotés	Métaux lourds	Pluies et brouillards acides
Photo-oxydants	Hydrocarbures	Hydrocarbures
Hydrocarbures		
Mélanges de polluants		

Mécanismes de l'effet des polluants atmosphériques sur les forêts

Effets directs

1. Lessivage des éléments nutritifs du feuillage
2. Dommages causés par l'ozone et réduction de l'efficacité de la photosynthèse
3. Dommages causés par l'ozone et accroissement du lessivage du feuillage
4. Dommages causés par le dioxyde de soufre
5. Fertilisation foliaire et accroissement des dommages d'hiver
6. Fertilisation foliaire et modification de la répartition des éléments nutritifs
7. Substances modifiant l'accroissement

Hypothèses d'effets indirects

8. Lessivage des éléments nutritifs du sol
9. Mobilité et toxicité de l'aluminium
10. Toxicité des métaux lourds

Figure 3. Emplacement des parcelles du Dispositif national d'alerte rapide pour les pluies acides au Canada.

le cycle des éléments nutritifs ainsi que sur la symptomatologie des dégâts dus à la pollution atmosphérique. Le Québec a intensifié la recherche sur les mécanismes des répercussions de la pollution atmosphérique, y compris de l'ozone, ainsi que la recherche sur l'observation et la surveillance de l'état de santé des érablières. Un autre projet, le Projet canado- américain d'étude du dépérissement de l'érable (NAMP), a été mis sur pied par Forêts Canada et le Forest Service des États-Unis et greffé au DNARPA. À ce projet participent l'Ontario, le Québec, le Nouveau-Brunswick, la Nouvelle-Écosse, le Maine, le New Hampshire, le Vermont, le Massachusetts, le New York, le Michigan et le Wisconsin. L'objet du projet est de déterminer la vitesse de changement de l'état des érablières et d'évaluer la mesure dans laquelle les polluants, les systèmes d'aménagement ou le degré initial de déclin influent sur cette vitesse.

Jusqu'à ce jour, la recherche effectuée par Forêts Canada a abouti à une hypothèse expliquant le déclin de l'érable (Auclair, 1987 et 1989), par corrélation de l'incidence du déclin chez plusieurs feuillus, y compris l'érable, et une série d'événements climatologiques et météorologiques. Des hivers exceptionnellement doux suivis de basses températures puis d'un printemps sec et chaud

Tableau 3. Paramètres surveillés dans les parcelles du DNARPA (Magasi, 1988)

A.	**Point zéro, puis évaluation aux 5 ans**
1.	Accroissement radial
2.	Croissance en hauteur
3.	Structure et densité du couvert d'une cime
4.	Échantillonnage du feuillage en vue d'une analyse
5.	Échantillonnage du sol en vue d'une analyse
B.	**Point zéro, puis évaluation annuelle**
1.	Mortalité des arbres
2.	État des arbres
3.	Symptômes visibles touchant le feuillage (pollution et causes naturelles de traumatisme)
C.	**Point zéro, puis deux évaluations dans la saison de croissance**
1.	Relevé des insectes et des maladies
2.	Symptômes visibles touchant le feuillage (pollution et causes naturelles de traumatisme)
3.	Production de semences

correspondent, en apparence, au déclin de la santé de feuillus. Cette hypothèse n'incrimine pas le dépôt de polluants. Toutefois, la présence de ces derniers traumatiserait davantage les arbres et les rendrait plus vulnérables à d'autres facteurs négatifs. L'explication complète de ces effets exigera probablement l'évaluation de plusieurs causes de traumatisme.

Dégradation du bouleau

Le brunissement et la chute prématurés des feuilles du bouleau ont été décelés dans le sud du Nouveau-Brunswick, en bordure de la baie de Fundy (Magasi, 1985). L'intensité de l'affection variait d'une année à l'autre et on a observé des dommages sur plusieurs autres essences : l'aulne (*Alnus* sp. B. Ehrh.), le peuplier à grandes dents (*Populus grandidentata* Michx.), le peuplier faux-tremble (*P. tremuloides* Michx.), le sorbier (*Sorbus* sp. L.) et l'érable à épis (*Acer spicatum* Lam.). Beaucoup de facteurs naturels (insectes et maladies, sécheresse, changement climatique, embruns marins et orages hivernaux inhabituels) ont été considérés comme des causes possibles, mais, après analyse détaillée, aucun d'eux, seul ou en combinaison, ne pouvait être incriminé (Magasi, 1989). Ainsi, d'autres causes de traumatisme ou d'affaiblissement des arbres devraient être recherchées.

La région où le brunissement du feuillage est observé coïncide avec une forte fréquence des brouillards estivaux causés par l'arrivée d'air provenant de régions de forte pollution de la Nouvelle-Angleterre, au sud. Des brouillards semblables auraient causé des dommages aux cultures légumières dans les régions où le brouillard acide et l'ozone ambiant ont réduit la photosynthèse et ralenti la croissance (Takemoto et collab., 1988).

Un projet commun a été entrepris par Forêts Canada, Environnement Canada et le Nouveau-Brunswick afin de déterminer si le brouillard acide et l'ozone pouvaient expliquer ou causer les atteintes subies par les bouleaux. Les premiers résultats montrent que le brunissement frappe toutes les localités où on mesure un brouillard acide (pH de 3,6) (Cox et collab., 1989). Le brunissement est plus étendu sur les vieilles feuilles, signe peut-être d'un effet cumulatif. Les études se poursuivent pour déterminer la ou les causes du phénomène.

Synopsis

Le DNARPA vise à la détection rapide des dommages causés, à grande échelle, aux forêts quand ces dommages ne trouvent aucune explication évidente. Si des dommages mystérieux sont décelés, Forêts Canada entreprend des recherches pour en déterminer les causes. Le DNARPA permet donc d'identifier les facteurs naturels et anthropiques de baisse de la productivité et de la survie des forêts du Canada.

Ouvrages de référence

Addison, P.A. 1980. Baseline condition of jack pine biomonitoring plots in the Athabasca Oil Sands

area, 1976 and 1977. Alberta Oil Sands Environmental Research Program Report No. 98, Alberta Department of Environment. 38 p.

Addison, P.A. 1982. Biomonitoring in the Athabasca Oil Sands area: Progress and pitfalls. Pages 331–367 *in* Symposium/Workshop Proceedings: Acid forming emissions in Alberta and their ecological effects. Alberta Department of Environment, Canadian Petroleum Association, Oil Sands Environmental Study Group, Edmonton, Alta. 648 p.

Addison, P.A. 1989. Monitoring the health of a forest: A Canadian approach. Environ. Monit. Assess. 12:39–48.

Addison, P.A.; L'Hirondelle, S.J.; Maynard, D.G.; Malhotra, S.S.; Khan, A.A. 1987. Effect of oil sands processing emissions on the boreal forest. Can. For. Serv., Info. Rep. NOR-X-284. Edmonton, Alta.

Addison, P.A.; Linzon, S.N.; Hogan, G.D., editors. 1986. The state of knowledge on the long-range transport of air pollutants and acid deposition assessment report. Part 4, Terrestrial effects. Federal/Provincial Research and Monitoring Coordinating Committee (RMCC), Downsview, Ont.

Auclair, A.N.D. 1987. The climate change theory of forest decline. *In* Lavender, D.P., editor, Proc. of the IUFRO Workshop on Woody Plant Growth in a Changing Physical and Chemical Environment. 27–31 July 1987. Univ. British Columbia, Vancouver, B.C.

Auclair, A.N.D. 1989. Cavitation as a mechanism of dieback in northern hardwoods. *In* Proceedings of the workshop, Research on maple decline. Quebec Dept. Agriculture, Fisheries, and Nutrition. 23–24 February 1989, Saint-Hyacinthe, Quebec. 5 p.

Barnard, J. E.; Bartuska, A. M.; Bradow, R. L.; Cowling, E. B.; Fege, A.; Hood, B.; Janetos, A.; Joyner, K.; Marx, D.H.; Pagano, T.A.; Preston, E.M.; Radloff, D.; Turner, R.; Woodman, J.N. 1985. Science advisory board review of the forest effects research program. US Environ. Protec. Agency, Washington, D.C.

Cox, R.M.; Spavold-Tims, J.; Hughes, R.N. 1989. Acid fog and ozone: Their possible role in birch deterioration around the Bay of Fundy, Canada. Water Air Soil Pollut. 48: 263–276.

D'Eon, S.P.; Power, J.M. 1989. The Acid Rain National Early Warning System (ARNEWS) plot network. Info. Rep. PI-X-91. Forestry Canada, Chalk River, Ont.

Forestry Canada. 1988. Selected forestry statistics Canada 1987. Info. Rep. E-X-40. Economics Branch, Ottawa, Ont.

Fraser, G.A. 1989. Acid rain control: Potential commercial forestry benefits to Canada. Info. Rep. E-X-42. Economics Branch, Forestry Canada, Ottawa, Ont.

Fraser, G.A.; Phillips, W.E.; Lamble, G.W.; Hogan, G.D.; Teskey, A.G. 1985. The potential impact of the long range transport of air pollutants on Canadian forests. Can. For. Serv. Info. Rep. E-X-36. Economics Branch, Ottawa, Ont.

Katz, M. 1929. Sulphur dioxide in the atmosphere and its relation to plant life. Ind. Eng. Chem. 41:2450.

Kondo, E. S.; Taylor, R.G. 1986. Forest insect and disease conditions in Canada 1985. Can. For. Serv., Ottawa, Ont. 107 p.

Linzon, S.N. 1958. The influence of smelter fumes on the growth of white pine in the Sudbury region. Joint Publ. Ontario Dept. Lands and Forests, Ontario Dept. Mines. Toronto, Ont.

Magasi, L.P. 1985. Forest pest conditions in the Maritimes 1984. Can. For. Serv., Info. Rep. M-X-154, Fredericton, N.B.

Magasi, L.P. 1988. Acid rain national early warning system: Manual on plot establishment and monitoring. Can. For. Serv., Info. Rep. DPC-X-25. Ottawa, Ont.

Magasi, L.P. 1989. White birch deterioration in the Bay of Fundy region, New Brunswick 1979-1988. Info. Rep. M-X-177. Forestry Canada, Fredericton, N.B.

Malhotra, S.; Blauel, R.A. 1980. Diagnosis of air pollutant and natural stress symptoms on forest vegetation in western Canada. Can. For. Serv., Info. Rep. NOR-X-228. Edmonton, Alta.

Maynard, D.G.; Addison, P.A. 1986. Variability in forest systems as it relates to elemental sulphur effects. Pages 255–285, *in* Proc. Second Symposium/Workshop on Acid Forming Emissions in Alberta and Their Ecological Effects. Research Management Division, Alberta Environment, Edmonton. 354 p.

Pearson, R.G.; Percy, K.E. 1990. The 1990 Canadian long-range transport of air pollutants and acid deposition assessment report. Part 5, Terrestrial effects. Federal/Provincial Research and Monitoring Coordinating Committee (RMCC), Downsview, Ont.

Program Coordinating Centres. 1986. International co-operative programme on assessment and monitoring of air pollution effects on forests, manual on methodologies and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Prepared by the Programme Coordinating Centres with the assistance of the United Nations Environment Programme and the Secretariat of the United Nations Economic Commission for Europe. Hamburg, Federal Republic of Germany.

Rennie, P.J. 1986. A review of Canadian investigation. *In* Proc. of the 67th Annual Meeting, Canadian Pulp and Paper Association, Session 9, Acid Deposition and Forest Health. Montreal, Que.

Rennie, P.J. 1987a. The significance of air pollution to forest decline in Canada. *In* Proc. workshop on forest decline and reproduction: Regional and global consequences. International Institute for Applied Systems Analysis and Polish Academy of Sciences, Krakow, Poland.

Rennie, P.J. 1987b. Air pollution and the forestry sector: challenges and requirements. *In* Lavender, D.P., editor, Proc. of the IUFRO Workshop on Woody Plant Growth in a Changing Physical and Chemical Environment. 27-31 July, 1987. Univ. British Columbia, Vancouver, B.C.

Rowe, J.S. 1972. Forest regions of Canada. Can. For. Serv., Publ. No. 1300. Ottawa, Ont. 172 p.

Sidhu, S.S. 1979. Fluoride levels in air, vegetation and soil in the vicinity of a phosphorus plant. J. Air Pollut. Control Assoc. 29:1069.

Takemoto, B.K.; Bytnerowicz, A.; Olszyk, D.M. 1988. Depression of photosynthesis, growth, and yield in field-grown green pepper (*Capsicum annuum* L.) exposed to acidic fog and ambient ozone. Plant Physiol. (Bethesda) 88:477-482.

Respuesta a la contaminación atmosférica

Evaluación del estado de los bosques de Canadá mediante SNDTLLA

J. Peter Hall
Forestry Canada
Science and Sustainable Development Directorate
Ottawa, Ontario

y Paul A. Addison
Forestry Canada
Ontario Region
Sault Ste. Marie, Ontario

Informe DPC-X-34
Forestry Canada
Science and Sustainable Development Directorate
Ottawa, 1991

© Ministro de la suministración y de los servicios de Canadá, 1991
No de catálogo: Fo46-13/34-1991
ISBN 0-662-58489-9
ISSN 0705-324X

Para obtener ejemplares gratis, escriban a:
Forestry Canada
Public Enquiries Centre
Ottawa, Ontario
K1A 1G5

Teléfono: (819) 953-2312
Telecopiadora: (819) 953-7048

Se puede comprar una edición sobre microficha de esta publicación a:
Micromedia Ltd.
165 Hôtel-de-Ville St.
Hull, Quebec
J8X 3X2

Esta edición en español no ha sido revisado.

Indice

Reconocimiento 33

Resumen 33

Introducción 33

Razón del establecimiento de SNDTLLA 37

Establecimiento del sistema 37

Observación de los efectos 39
- Languidecimiento del arce 39
- Deterioro del abedul 40

Conclusión 40

Obras citadas 40

Reconocimiento

El sistema SNDTLLA fue desarrollado como producto de debates sostenidos por los scientíficos del Estudio de Insectos y Enfermedades Forestales y el Programa de Transporte a larga distancia de substancias contaminantes aéreas de Forestry Canada. Ese sistema fue elaborado y puesto en práctica con la cooperación y buena voluntad del personal que trabaja en esos programas.

Los autores agradecen los útiles comentarios hechos durante la preparacion de este ensayo por el Dr. L. Magasi, Forestry Canada — Provincias Marítimas, Dr. D. Lachance de la Región de Quebec y del Dr. A. Van Sickle de la Región del Pacífico y el Yukon. ión

Resumen

En Canadá, la lluvia ácida es un término genérico que abarca todas las formas de contaminación húmedas y secas, concentraciones de gases contaminantes y partículas aéreas. Debido a que estos contaminantes, solos o combinados, tienen la capacidad de afectar la salud de los bosques de Canadá, Forestry Canada comenzó en 1984 un programa nacional de observación de los bosques canadienses, el Sistema Nacional de Detección Temprana de la LLuvia Acida (SNDTLLA).

Las investigaciones sobre los efectos de los contaminantes durante los 15-20 años anteriores habían demostrado que, dadas las condiciones existentes en Canadá, era imposible determinar síntomas específicos causados por la lluvia ácida o por mezclas de contaminantes sobre los árboles ni señalar reacciones específicas de los ecosistemas forestales. El programa SNDTLLA fue concebido para realizar observaciones del estado de los bosques a fin de determinar los efectos de la lluvia ácida y los contaminantes atmosféricos regionales sobre los bosques. Las observacones las hace el personal del Estudio de Insectos y Enfermedades Forestales (Forest Insect and Disease Survey), organismo experimentado en la evaluación del estad de los bosques. Ese grupo hace evaluaciones en parcelas parmanentes de muestreo y en todos los bosques en busca de daños anómalos. Las técnicas empleadas incluyen mediciones de parámetros mensurables y síntomas y evaluación de daños producidos en los rodales por causas naturales y antropogénicas. El sistema depende de la capacidad de Forestry Canada para mantener el sistema de detección con los investigadores que realicen los estudios para explicar las anormalidades en el estado de los bosques. La observación de anormalidades da lugar a proyectos de investigación sobre las posibles causas.

Introducción

En Canadá existe gran preocupación púlica respecto al efecto de lluvia ácida sobre los recursos forestales. A pesar de que estos recursos ocupan extansas regiones, se consideran potencialmente vulneables a una degradación ambiental en gran escala (Tabla 1). Canadá ocupa el primer lugar en cuanto al valor de sus exportaciones foretales (Forestry Canada 1988) y el público canadiense considera la protección del medio ambiente, especialmente los bosques, como uno de los temas de mayor interés, asignándole incluso más importancia que al desarrollo económico. Los bosques también consituyen, en Canadá, una parte importante de nuestro patrimonio geográfico y el público concede un alto valor a la calidad del medio ambiente forestal. Al mismo tiempo que Canadá tiene una de las más bajas densidades poblacionales del mundo, la participación per cápita en las organizaciones de defensa del medio ambiente es una de las mayores.

Tabla 1. El bosque canadiense — Estadísticas seleccionadas de producción y problemas (Forestry Canada 1988)

Superficie	
Superficie total de Canadá	997 millones de ha
Superficie forestal inventariada	398 millones de ha
Bosques productivos inventariados	244 millones de ha
Producción	
Cosecha de 1984	168 millones de m
Proporción de especies	
Madera blanda	92%
Madera dura	8%
Total de las exportaciones de productos madereros (1985)	$16.200 millones
Pérdidas	
Pérdida anual por incendios (1973–82)	1,1 millones de ha
Pérdida anual por insectos y enfermedades (1977–81)	107 millones de m
Extensión de bosque muerto o moribundo a causa de la oruga de las yemas de la picea	25 millones de ha

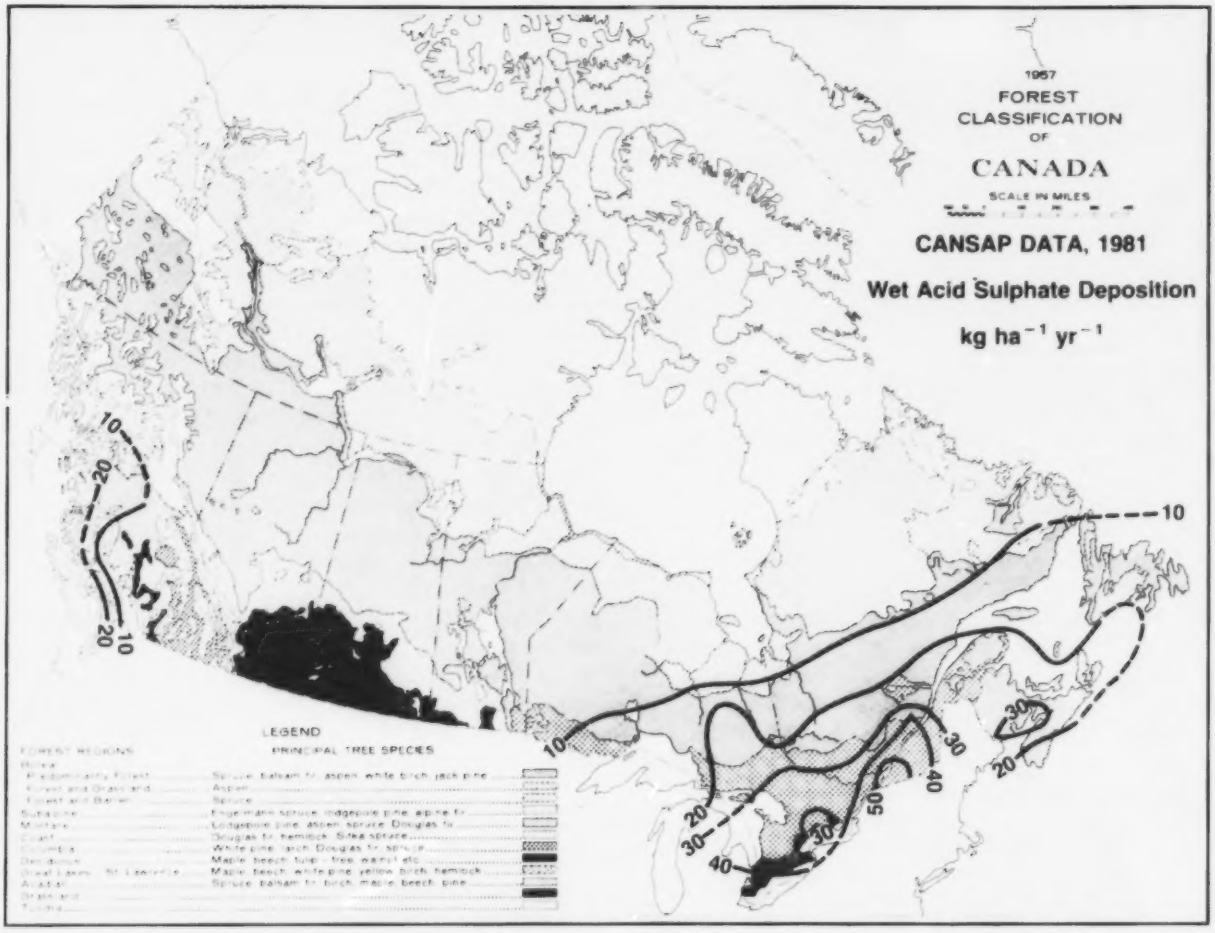


Figura 1. Regiones forestales de Canadá (Rowe 1972) con isopletas de niveles de 1981 del promedio quinquenal de precipitación de SO_4 (Rennie 1987a).

En Canadá el término "lluvia ácida" abarca todas las formas de contaminación atmosférica — precipitaciones húmedas y secas de SO_4 y NO_3, gases contaminantes y partículas aéreas (Addison et al. 1986). Hay pocos casos en Canadá en que se haya demostrado degradación de bosques causada por la lluvia ácida (Rennie 1987a) y escasas pruebas de que esas substancias contaminantes estén presentes en concentraciones altas o estén afectando o los bosques de Canadá. Los rodales que muestran los clásicos efectos de la acción de contaminantes están alrededor de lugares que emiten metales pesados, fluorina, SO_4 y NO_3. También existe preocupación sobre los efectos de otras substancias contaminantes, tales como ozono, compuestos orgánicos volantes, otros oxidantes y metales pesados.

Hay diez regiones forestales principales en Canadá que las substancias contaminantes afectadan en grado diferente (Rowe 1972). En la región Este de Canadá, los bosques de árboles caducifolios ocupan el Sur de Ontario; al norte de esta región hay bosques de madera mixta y más al norte todavía se encuentran los bosques boreales de coníferas. La mayor actividad industrial de Canadá se lleva a cabo en los bosques de coníferas (por ejamplo, la industria papelera y de la celulosa), que, al mismo tiempo, se hallan más alejados de los centros emisores de contaminación (Rennie 1987b). Si se estima que una precipitación de 20 Kg/ha/año de bisulfato constituye el límite por encima del cual las precipitaciones de substancias contaminantes son "significativa", como es el caso en los sistemas acuáticos, entonces son principalmente los

Figura 2. Regiones forestales de Canadá (Rowe 1972) con isopletas de niveles de 1981 del promedio quinquenal de precipitación de NO_3 (Rennie 1987a).

bosques de frondosas y madera mixta, sobre una superficie de 15 millones de hectáreas, los expuestos a precipitaciones regionales significativas de sulfato y nitrato (Figuras 1, 2; Pearson y Percy 1990).

En consecuencia, en Canadá, los bosques más expuestos a la contaminación atmosférica regional son los bosques de frondosas y madera mixta ubicados en lugares próximos a las zonas urbanas más densamente probladas. Estos bosques están entre los más productivos del país y son los más intensamente utilizados. Se utilizan para recreación, turismo, hábitat de la fauna silvetre, fines estéticos, bosques de granja, extracción de arrope de arce y producción de madera dura y blanda de calidad para la construcción. Es la preocupación por estos bosques que convierte el tema de la contaminación atmosférica-bosques en un tema de suma importancia para los canadienses.

En general, los niveles de contaminación en Canadá son menores que en Europa o en los Estados Unidos (Rennie 1986). A pesar de la contaminación relativamente baja y la falta de efectos claramente probados, un estudio sobre las opiniones de los biólogos de la contaminación atmosférica indicó que éstos creían que habría menor crecimiento a los niveles actuales de contaminación (Fraser et al. 1985). Más aún, si no se reducen los niveles actuales de contaminación, las estimaciones cuantitativas de las pérdidas económicas y de futuras reducciones en el

crecimiento y productividad tendrán que ser aumentadas (Fraser 1989). Se estimó que el peligro de los efectos negativos de la lluvia ácida sobre los bosques era suficientemente considerable y se hacía necesario crear un sistema para probar si los bosques canadienses estaban siendo afectados por la precipitación de materiales que se sabía causaban daños en otros lugares. Por esta razón, Forestry Canada comenzó, en 1984, un program de obervación de bosques llamado Sistema Nacional de Deteccion Temprana de la LLuvia Acida (SNDTLLA) (Figura 3).

Los objetivos de SNDTLLA son:

- detectar los posibles daños ocasionados en los árboles y suelos de los bosques por la lluvia ácida mediante la identifación de los daños acaecidos en los bosques canadienses no atribuibles a causas naturales ni a técnicas de explotación y
- hacer observaciones a largo plazo sobre la vegetación y suelos, a fin de detectar cambios atribuibles a las precipitationes ácidas y otras substancias contaminantes en ecosistemas forestales representativos.

Figura 3. Mapa de Canadá indicando los emplazamientos del Sistema Nacional de Detección Temprana de la LLuvia Acida.

Razón del establecimiento de SNDTLLA

Hay diferecias entre la evaluación de los efectos cerca de centros que emitan abudante contaminación de los efectos sobre regiones extensas sometidas a niveles de contaminación bajos. Forestry Canada tiene más de 50 años de experiencia en la detección y observación de los efectos que la contaminación atmosférica ocasiona sobre los bosques. Se han hecho observaciones en Trail, Colombia Británica (Katz 1929), en Sudubury, Ontario (Linzon 1958), Fort McMurray, Alberta (Addison 1980, Addison et al. 1987) y Long Harbour, Terranova (Sidhu 1979). La red de observación fue diseñada para demostrar si determinadas substancias contaminantes están presentes en los ecosistemas forestales y, al mismo tiempo, si los afectan (Addison 1982).

Originalmente se propuso la medición de las substancias contaminantes, pero pronto se hizo evidente que el costo de mantener una red de estaciones dedicadas a observar todas las posibles substancias fitotoxícas en la atmósfera era damasiado elevado. Se consideró que un método alternativo podría ser un método biológico integrado en que se observara las precipitaciones contaminantes tales como, por ejemplo, el contenido de contaminantes en las plantas y suelos. Se examinó cuantitativamente la capacidad que el conenido de contaminantes de líquenes y material vascular de plantas y el suelo tenía para proporcionar estimaciones de la precipitación de contaminantes atmosféricos. Hubo enorme variación en la composición química del material de plantas y suelos en los ecosistemas forestales (Maynard y Addison 1986). Otras substancias contaminantes fitotóxicas tales como el ozono o el peróxido de hidrógeno en el suelo y plantas no se pudieron evaluar en forma segura. Dado que la tasa de precipitaciones medidas en los bosques fueron bajas en términos abosolutos y en relación a las cantidades naturales de SO_4 y $_3$, se consideró que no era práctico hacer la observación de las tasas esperadas de precipitación. Sólo fue posible detectar grandes cantidades de contaminantes y grandes cambios en la vegetación.

Muchos procesos biológicos responden a los contaminantes atmosféricos en el laboratorio y en las proximidades de grandes centros emisores, pero la observación de campo de las reacciones biológicas frente a las precipitaciones contaminantes es muy difícil (Addison 1989). Se propuso la observación de síntomas específicos visibles del efecto de la contaminación atmosférica (Malhotra y Blauel 1980), pero no se has podido demostrar una respuesta específica de los ecosistemas forestales a la contaminación atmosférica regional. Las respuestas biológicas a la contaminación fueron medido en el suelo y en la vegetación. La variabilidad en la composición química de la vegetación es mayor que la del suelo (Maynard y Addison 1986). Los sistemas biológicos responden a un complejo de factores ambientales y no a un factor único tal como "contaminación atmosférica". Otros componentes del complejo ambiental tales como el daño causado por insectos, enfermedades, clima, incendios y suelos también afectan al bosque (Barnard et al. 1985, Tabla 2). Los factores naturales tienen un efecto tan grande que las sutiles reacciones que podrían ser causadas por la contaminación se pierden entre la 'masa' de los datos.

Establecimiento del sistema

Un método alternativo a la observación químico-biológica consistió en evaluar el estado de salud del bosque. Este método implicaba la utilización de un conjunto de mediciones corrientes que se harían en parcelas de muestra permanentes. En consecuencia, el Estudio de Insectos y Enfermedades Forestales (EIEF) de Forestry Canada instaló la red SNDTLLA. Empleando técnicos experimentados en el campo, el EIEF ha suministrado, durante los últimos 50 años, un panorama nacional anual sobre los bosques que abarca 220 millones de hectóareas de bosques productivos. La función del EIEF en SNDTLLA es establecer parcelas permanentes de muestra, observar el estado de salud y los cambios y realizar las labores generales de detección para identificar las óreas boscosas con daños que no sean explicables por otros factores tales como insectos, enfermedades, incendios o causas antropogénicas. Si se detectan daños cuya explicación no es evidente, se comienza un proyecto de investigación para determinar las posibles causas. La capacidad de Forestry Canada de mantener el estudio sobre el estado de salud de los bosques y también el personal encargado de las investifaciones a fin de evaluar las anormalidades en la salud de los bosques es fundamental para el funcionamiento del sistema. Forestry Canada debe también realizar investigaciones y cooperar con otros organismos. Se preparó un manual que establece la metodología los procedimientos para hacer las mediciones usadas para determinar el estado del bosques durante períodos largos (Magasi 1988). Esta observación permite determinar la variación de lugar a lugar y entre diferentes períodos de tiempo. Las mediciones del crecimiento arbóreo se utilizan ampliamente porque el crecimiento es sensible a muchos factores y es la base económica del bosque. Se promedian los

antecedentes de la enfermedad verde (clorosis de las hojas) y los insectos dañinos para eliminar sus efectos sobre la defoliación y el crecimiento. Este médodo est similar a los métodos usados en Europa, excepto que no se intenta relacionar las mediciones con e lmodelo de un órbol teóricamente "sano" (Program Coordinating Centres 1986). Las mediciones de las dimensiones de los árboles, follaje y composición química del suelo se emplean para estimar la fertilidad del lugar y proporcionar datos de base con los cuales comparar futuras mediciones.

Hay tres clases de parámetros, en base a la frecuencia y el propósito de las mediciones (Tabla 3, Magasi 1988). Hay intervalos de cinco años entre cada medición del crecimiento, estructura y densidad de la copa, y de la composición química del follaje y del suelo. Estas mediciones, junto con las medidas de referencia tomadas para caracterizar el lugar y el rodal (por ejemplo, pendiente, aspecto y tipo de la cubierta del bosque), suministran la descripción inicial de las parcelas. El estado de los árboles, la evaluación del estado foliar, insectos y enfermedades se evalúan en la temporada de crecimiento y periódicamente se hacen estudios de insectos y enfermedades a fin de detactar todas las principales plagas forestales.

Table 2. Factores que ejercen presión y tensión en los ecosistemas forestales

Factores primarios

Factores climáticos: Sequía, exceso de humedad, mayor temperatura del suelo, cambios climáticos, daños ocasionados por el invierno, el viento y tormentas de hielo

Insectos y enfermedades: Defoliación, succión, barrenillo de la corteza, hongos patógenos de los brotes y las agujas, *Armillaria mellea* y otras podedumbres de la raíz

Estado del rodal: Maduración excesiva, tala, interacción combinada del suelo, el clima y los árboles

Substancias contaminantes atmosféricas

Factores secundarios

Nematodos, Víruses, Micoplasmas, Bacteria fastidiosa de xylem limitado

Substancias contaminantes transportadas a grandes distancias que afectan los ecosistemas forestales

Gases	Partículas	Soluciones
Compuestos de azufre	Compuestos ácidos (S y N)	Oxidantes
Compuestos de nitrógeno	Metales pesados	LLuvia/neblina ácida
Foto-oxidantes	Hidrocarburos	Hidrocarburos
Hidrocarburos		
Mezclas de contaminantes		

Hipótesis de mecanismos con que la contaminación atmosférica afecta los bosques

Efectos directos

1. Lixiviado de nutrientes de la joha
2. Daño causado por el ozono y fotosíntesis menos eficiente
3. Daño causado por el ozono y mayor lixiviación foliar
4. Daño causado por el dióxxido de azufre
5. Fertilización foliar y mayor daño invernal
6. Fertilización foliar y asignación alterada de nutrientes
7. Substancias que alteran el crecimiento

Hipótesis de efectos indirectos

8. Lixiviación de nutrientes del suelo
9. Movilidad y toxicidad del alumnio
10. Toxicidad de los metales pesados

Tabla 3. Observación de parámetros en las parcelas SNDTLLA (Magasi 1988)

A.	**Evaluación en el año de referencia y a intervalos de cinco años**
1.	Crecimiento radial
2.	Crecimiento vertical
3.	Estructura y densidad de la copa
4.	Muestras para análisis de follaje
5.	Muestras para análisis de suelo
B.	**Evaluación en el año de referencia y a intervalos de un año**
1.	Mortalidad de árboles
2.	estado de los árboles
3.	Síntomas foliares visibles (contaminación y presión ambiental natural)
C.	**Evaluación en al año de referencia y dos evaluaciones en la temporada de crecimiento**
1.	Insectos y enfermedades
2.	Síntomas foliares visibles (contaminación y signos de presión natural del ambiente)
3.	Produccín de semillas

SNDTLLA es, entonces, un programa nacional para detectar, en forma clara y precisa, signos tempranos del daño ocasionado por la lluvia ácida en los bosques de Canadá antes de que ese daño sea evidente. Es necesario hacer obervaciones precisas a fin de aislar y determinar los efectos inicialmente sutiles que la lluvia ácida pudiera producir. Se observaron los síntomas que en Alemania se consideraban típicos del daño de la lluvia ácida, incluso el cambio de color de las agujas, agujas de forma anormal, descoloración prematura y caida prematura de las agujas, marchitamiento descendente inexplicable, achatamiento prematuro de la copa y una declinación abrupta del follaje o crecimiento anual de anillos (Kondo y Taylor 1986).

En total se establecieron 103 parcelas en la región sur de los bosques comerciales de Canadá (D'Eon y Power 1989). La mayoría de la parcelas están en el este de Canadá, donde los niveles de contaminación son mayores (Figuras 1, 2). Se obervan y evaluan los tipos de bosques de importancia comercial para cada provincia. Si es posible, en todas las parcelas se plantan piceas blancas, *Picea glauca* (Moench) Voss, la única especie comercial distribuida por todo Canadá.

Observación de los efectos

Desde su inicio, el sistema SNDTLLA ha observado cambios en los bosques del este de Canadá. Se han observado síntomas inexplicables de marchitamiento o deterioro en arces, *Acer saccharum* Marsh. y abedules, *Betula papyrifera, Marsh.* y *B. cordifolia* (Reg.) Fern. Estos síntomas habían sido identificados antes de la formación de la red de SNDTLLA pero han sido observados posteriormente por ese sistema.

Languidecimiento del arce

El languidecimiento del aspecto y la salud de los rodales de arce de azúcar en Quebec provocó varios estudios de esos rodales, en los que se señaló que no había un factor único; los daños observados se explicaron adecuadamente por la elevación, técnicas de explotación, extracción de la savia, insectos o enfermedades. La investigación sobre e languidecimiento del arce se está coordinando a tres niveles. Forestry Canada amplió su propio programa de silvicultura de arce haciendo trabajos sobre el ciclo de nutrientes y sintomatología de los daños causados por la contaminación atmosférica. El Gobierno de Quebec aumentó sus esfuerzos para estudiar los mecanismos de acción de la contaminación atmosférica, incluso el ozono y también intensificó el estudio y observación de la salud de los rodales de arce. Como consecuencia de SNDTLLA se comenzó, el North American Maple Project (NAMP) (Proyecto Norteamericano sobre el arce), realizado en connunto por Forestry Canada el Servicio Forestal de Estados Unidos. Actualmente este proyecto incluye la participación de las provincias de Ontario, Quebec, Nueva Brunswick y Nueva Escocia, y varios estados: Maine, Nueva Hampshire, Vermont, Massachusetts, Nueva York, Michigan y Wisconsin. Los objetivos de NAMP son determinar la velocidad de cambio en el estado de los rodales de arce de azúcar y evaluar la forma en que las substancias contaminantes, los sistemas de gestión o el nivel inicial de languidecimiento afectan la velocidad de cambio.

Las investigaciones de Forestry Canada han dado como resultado una hipótesis sobre el languidecimiento del arce, desarrollada por Auclair (1987, 1989) quien correlaciona la incidencia de languidecimiento en varias especies de frondosas, inclusive el arce, con una serie de fenómenos climáticos. Parece que si a períodos de clima invernal sumamente cálidos siguen temperaturas bajas y una primavera seca y templada, se oberva la presencia del languidecimiento de las frondosas. Esta hipótesis no

considera que el causante sea la precipitación de materais conaminantes. Sin embargo, la presencia de substancias contaminantes probablemente recarga la presión ambiental ejercida sobre los árboles que, a su vez, puede hacerlos susceptibles a otros factores dañinos. Para explicar estos efectos habrá que evaluar las múltiples presiones y tensiones.

Deterioro del abedul

Se detectó el pardeado precoz y la caída prematura de las hojas del abedul en el sur de Nueva Brunswick a lo largo de la Bahía de Fundy, (Magasi 1985). La intensidad varió de año en año y se registraron daños en varias otras especies; aliso (*Alnus* spp. B. Ehrh.), álamo canadiense (*Populus grandidentata* Michx.), álamo temblón (*P. tremuloides* Michx.), eucalipto regnans (*Sorbus* spp. L.) y arce de montaña (*Acer spicatum* Lam). Muchos factores naturales (insectos y enfermedades, sequía, cambios climáticos, rociado salino y tormentas invernales inusitadas) se estudiaron como posibles causas, pero después de hacer un detallado análisis, ninguno de ellos, ni individualmente ni en combinación, podían explicar el daño (Magasi 1989). Esto sugiere que se deberiían investigar otros factores que ejercen presión o predisonen los árboles al deterioro.

El pardeado de las hojas coincide, en esa zona, con el gran número de neblinas de verano que son llevadas por el aire cálido del sur, proveniente de zonas de mucha contamiaciá en Nueva Inglaterra. Se ha iinformado que neblinas similares han dañado cultivos de verduras donde la neblina ácida y el ozono del ambiente han causado depresión de la fotosíntesis y reducción del crecimiento (Takemoto et al. 1988).

Se comenzó un proyecto cooperativo de investigación entre Forestry Canada, el Ministerio del Medio Ambiente de Canadá y la Provincia de Nueva Brunswick para determinar si la neblina ácida y el ozono estarían involucrados o causan daños a los abedules. Los resultados iniciales indican que el pardeado foliar acontece en todos los lugares donde se hacen mediciones de neblinas ácidas (pH 3,6) (Cox et al. 1989). El pardeado es mayor en las hojas de más edad, lo que sugiere que el daño es acumulativo. Se continuan haciendo investigaciones para determinar la causalidad de la relación.

Conclusión

El Sistema Nacional de Detección Temprana de la LLuvia Acida tiene la misión de observar daños forestales que no tienen una explicación obvia, estando diseñado para obtener una detección temprana de daóos forestales en gran escala. En caso de detectar daños no explicables, Forestry Canada inicia estudios de investigación para determinar sus causas. El sistema SNDTLLA, por lo tanto, constituye un sistema para identificar factores naturales y antropogénicos que afectan la productividad y supervivencia de los bosques de Canadá.

Obras citadas

Addison, P.A. 1980. Baseline condition of jack pine biomonitoring plots in the Athabasca Oil Sands area, 1976 and 1977. Alberta Oil Sands Environmental Research Program Report No. 98, Alberta Department of Environment. 38 p.

Addison, P.A. 1982. Biomonitoring in the Athabasca Oil Sands area: Progress and pitfalls. Pages 331–367 *in* Symposium/Workshop Proceedings: Acid forming emissions in Alberta and their ecological effects. Alberta Department of Environment, Canadian Petroleum Association, Oil Sands Environ. Study Group, Edmonton, Alta. 648 p.

Addison, P.A. 1989. Monitoring the health of a forest: A Canadian approach. Environ. Monit. Assess. 12:39–48.

Addison, P.A.; L'Hirondelle, S.J.; Maynard, D.G.; Malhotra, S.S.; Khan, A.A. 1987. Effect of oil sands processing emissions on the boreal forest. Can. For. Serv., Info. Rep. NOR-X-284. Edmonton, Alta.

Addison, P.A.; Linzon, S.N.; Hogan, G.D., editors. 1986. The state of knowledge on the long-range transport of air pollutants and acid deposition assessment report. Part 4, Terrestrial effects. Federal/Provincial Research and Monitoring Coordinating Committee (RMCC), Downsview, Ont.

Auclair, A.N.D. 1987. The climate change theory of forest decline. *In* Lavender, D.P., editor, Proc. of the IUFRO Workshop on Woody Plant Growth in a Changing Physical and Chemical Environment. 27–31 July 1987. Univ. British Columbia, Vancouver, B.C.

Auclair, A.N.D. 1989. Cavitation as a mechanism of dieback in northern hardwoods. *In* Proceedings of the workshop, Research on maple decline. Quebec Dept. Agriculture, Fisheries, and Nutrition. 23–24 February 1989, Saint-Hyacinthe, Quebec. 5 p.

Barnard, J. E.; Bartuska, A. M.; Bradow, R. L.; Cowling, E. B.; Fege, A.; Hood, B.; Janetos, A.; Joyner, K.; Marx, D.H.; Pagano, T.A.; Preston, E.M.; Radloff, D.; Turner, R.; Woodman, J.N. 1985. Science advisory board review of the forest effects research program. US Environ. Protec. Agency, Washington, D.C.

Cox, R.M.; Spavold-Tims, J.; Hughes, R.N. 1989. Acid fog and ozone: Their possible role in birch deterioration around the Bay of Fundy, Canada. Water Air Soil Pollut. 48: 263–276.

D'Eon, S.P.; Power, J.M. 1989. The Acid Rain National Early Warning System (ARNEWS) plot network. Info. Rep. PI-X-91. Forestry Canada, Chalk River, Ont.

Forestry Canada. 1988. Selected forestry statistics Canada 1987. Info. Rep. E-X-40. Economics Branch, Ottawa, Ont.

Fraser, G.A. 1989. Acid rain control: Potential commercial forestry benefits to Canada. Info. Rep. E-X-42. Economics Branch, Forestry Canada, Ottawa, Ont.

Fraser, G.A.; Phillips, W.E.; Lamble, G.W.; Hogan, G.D.; Teskey, A.G. 1985. The potential impact of the long range transport of air pollutants on Canadian forests. Can. For. Serv. Info. Rep. E-X-36. Economics Branch, Ottawa, Ont.

Katz, M. 1929. Sulphur dioxide in the atmosphere and its relation to plant life. Ind. Eng. Chem. 41:2450.

Kondo, E. S.; Taylor, R.G. 1986. Forest insect and disease conditions in Canada 1985. Can. For. Serv., Ottawa, Ont. 107 p.

Linzon, S.N. 1958. The influence of smelter fumes on the growth of white pine in the Sudbury region. Joint Publ. Ontario Dept. Lands and Forests, Ontario Dept. Mines. Toronto, Ont.

Magasi, L.P. 1985. Forest pest conditions in the Maritimes 1984. Can. For. Serv., Info. Rep. M-X-154, Fredericton, N.B.

Magasi, L.P. 1988. Acid rain national early warning system: Manual on plot establishment and monitoring. Can. For. Serv., Info. Rep. DPC-X-25. Ottawa, Ont.

Magasi, L.P. 1989. White birch deterioration in the Bay of Fundy region, New Brunswick 1979-1988. Info. Rep. M-X-177. Forestry Canada, Fredericton, N.B.

Malhotra, S.; Blauel, R.A. 1980. Diagnosis of air pollutant and natural stress symptoms on forest vegetation in western Canada. Can. For. Serv., Info. Rep. NOR-X-228. Edmonton, Alta.

Maynard, D.G.; Addison, P.A. 1986. Variability in forest systems as it relates to elemental sulphur effects. Pages 255–285, *in* Proc. Second Symposium/Workshop on Acid Forming Emissions in Alberta and Their Ecological Effects. Research Management Division, Alberta Environment, Edmonton. 354 p.

Pearson, R.G.; Percy, K.E. 1990. The 1990 Canadian long-range transport of air pollutants and acid deposition assessment report. Part 5, Terrestrial effects. Federal/Provincial Research and Monitoring Coordinating Committee (RMCC), Downsview, Ont.

Program Coordinating Centres. 1986. International co-operative programme on assessment and monitoring of air pollution effects on forests, manual on methodologies and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Prepared by the Programme Coordinating Centres with the assistance of the United Nations Environment Programme and the Secretariat of the United Nations Economic Commission for Europe. Hamburg, Federal Republic of Germany.

Rennie, P.J. 1986. A review of Canadian investigation. *In* Proc. of the 67th Annual Meeting, Canadian Pulp and Paper Association, Session 9, Acid Deposition and Forest Health. Montreal, Que.

Rennie, P.J. 1987a. The significance of air pollution to forest decline in Canada. *In* Proc. workshop on forest decline and reproduction: Regional and global consequences. International Institute for Applied Systems Analysis and Polish Academy of Sciences, Krakow, Poland.

Rennie, P.J. 1987b. Air pollution and the forestry sector: challenges and requirements. *In* Lavender, D.P., editor, Proc. of the IUFRO Workshop on Woody Plant Growth in a Changing Physical and Chemical Environment. 27-31 July, 1987. Univ. British Columbia, Vancouver, B.C.

Rowe, J.S. 1972. Forest regions of Canada. Can. For. Serv., Publ. No. 1300. Ottawa, Ont. 172 p.

Sidhu, S.S. 1979. Fluoride levels in air, vegetation and soil in the vicinity of a phosphorus plant. J. Air Pollut. Control Assoc. 29:1069.

Takemoto, B.K.; Bytnerowicz, A.; Olszyk, D.M. 1988. Depression of photosynthesis, growth, and yield in field-grown green pepper (*Capsicum annuum* L.) exposed to acidic fog and ambient ozone. Plant Physiol. (Bethesda) 88:477-482.